

# **Análisis de viabilidad para el autoabastecimiento eléctrico mediante energías renovables en el puerto de Barcelona**

**Trabajo Final de Máster**



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:  
**Eric Pascual Soldevilla**

Dirigido por:  
**Santiago Ordás**

Màster Universitario en Ingeniería Naval y Oceánica

Barcelona, 10 de septiembre de 2019

Departamento de Ciencias e Ingenierías Náuticas







“Podemos ver nuestro pasado y predecir nuestro futuro”



# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres, hermanas y familia en general haber hecho que este día se posible, gracias a ellos hoy puedo estar aquí. Todo el apoyo, guías y referencias han conseguido eso.

A todos los profesores de facultad y cursos anteriores, gracias a ellos por conseguir guiarme hasta aquí.

Agradecer a Santiago Ordás la paciencia y confianza que ha tenido durante estos años conmigo y en especial por la tensión, como siempre, para la entrega del trabajo.

Compañeros de trabajo que han seguido formándome continuando la estela anterior.

Y en especial, y por supuesto, a mi novia por todo el apoyo recibido por su parte, aguantando horas intempestivas con trabajos y estudio, gracias.

Después de unos años compaginando el trabajo y el estudio, todo esfuerzo tiene su recompensa, por tanto, solo me queda decir GRACIAS a todos y todo lo que ha hecho posible que pueda llegar hoy a este punto.

Espero que esto no sea un adiós, siempre quedará el recuerdo de la Facultad y todo lo que la rodea en mi corazón. Aun así, seguro que volvemos a vernos.

Eric.





## RESUMEN

El objetivo del trabajo es llevar a cabo un análisis de viabilidad en el puerto de Barcelona, con el objetivo de poder demostrar, si fuera posible, la capacidad de autoabastecimiento eléctrico del mismo mediante la utilización de energías renovables. Con el fin de poder utilizar toda la energía eléctrica, requerida por el puerto y los buques que en él amarren proveniente, de energías limpias. Para ello se realizará un estudio de la necesidad de energía actual y futura, del mismo modo que la capacidad de instalación de energías renovables actualmente junto su posible impacto ambiental. Analizar los costes de instalación, operación y amortización.



## ABSTRACT

The objective of the work is to carry out a feasibility analysis in the port of Barcelona, with the aim of being able to demonstrate, if possible, the capacity of self-sufficiency of the same through the use of renewable energies. In order to be able to use all the electrical energy, required by the port and the ships that moor there, from clean energy. For this, a study of the need for current and future energy will be carried out, in the same way as the capacity of renewable energy installation currently together with its possible environmental impact. Analyze installation, operation and amortization costs.



# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT .....	11
Listado de Figuras.....	17
Listado de Tablas.....	21
Introducción.....	23
Capítulo 1: Situación medioambiental .....	25
1.1 Estado medioambiental nivel mundial .....	25
1.1.1 La contaminación y su globalización.....	25
1.1.2 Consecuencias de la contaminación .....	27
1.2 Estado medioambiental Europa.....	41
1.2.1 Implementación ambiental .....	42
1.2.2 Estrategia Europea para plásticos .....	45
1.2.3 Plan de acción ambiental 2020 .....	46
1.3 Estado medioambiental España.....	48
1.3.1 Producción de energía en España.....	49

1.3.2 Estado medioambiental Barcelona .....	54
Capítulo 2: Impacto ambiental en puertos .....	57
2.1 Impacto ambiental .....	57
2.1.1 Contaminación de puertos .....	57
2.1.2 Emisiones motores marinos .....	59
2.2 Estado medioambiental del puerto de Barcelona .....	66
2.2.1 Afectación de los cruceros .....	66
2.2.2 Plan de mejora de la calidad del aire .....	68
2.2.3 Estrategia climática .....	69
Capítulo 3: Las energías renovables .....	71
3.1 Tipos de energías renovables .....	72
3.1.1 Biomasa.....	72
3.1.2 Energía marítima.....	73
3.1.3 Energía geotérmica.....	76
3.1.4 Energía solar.....	77
3.1.5 Energía eólica.....	79
3.2 Ejemplo práctico de un aerogenerador y su control mediante Simulink .....	83
3.2.1 Estudio de enlaces de alta tensión.....	83

3.2.2 Simulación turbina y generador.....	97
Capítulo 4: Energías alternativas.....	101
4.1 Uso de GNL como combustible en buques.....	101
4.1.1 Impacto Medioambiental en el Transporte Marítimo.....	101
4.1.2 Reglamentación medioambiental .....	102
4.1.3 Viabilidad del LNG .....	103
4.1.4. Contexto económico.....	103
4.1.5 Reglamentación Aplicable a Buques que consumen LNG .....	103
4.1.6 Proyectos destacados .....	104
Capítulo 5: Autoabastecimiento mediante energías renovables en el puerto de Barcelona .....	107
5.1 Electrificación del puerto de Barcelona.....	108
5.1.1 Plan de electrificación del puerto de Barcelona.....	108
5.1.2 Energías renovables en puerto de Barcelona.....	109
5.1.3 Apuesta por el Gas Natural Licuado (LNG) .....	112
5.2 Puertos europeos con energías renovables.....	112
5.2.1 Puerto de Rotterdam .....	112
5.2.2 Puerto de Hamburgo .....	113

5.3 Viabilidad del proyecto en el puerto de Barcelona.....	114
Capítulo 6: Análisis económico .....	115
CONCLUSIONES .....	117
Bibliografía.....	119
ANEXO 1: CO <sub>2</sub> Neutral Puerto de Rotterdam .....	121
ANEXO 2: Declaración ambiental puerto Barcelona .....	123



## Listado de Figuras

Ilustración 1. Vista aérea del reactor de Chernobyl, 1987.....	26
Ilustración 2. Bloques de hielo perdiendo volumen.....	27
Ilustración 3. Altos niveles de contaminación atmosférica en Shanghái. (elpais.com) .....	29
Ilustración 4. Deforestacion en el Amazonas de Brasil. (teorema.com) .....	34
Ilustración 5. Terreno seco en Extremadura. (Publico.com).....	37
Ilustración 6. Logo de la comisión Europea, encargada de llevar a cabo todas las acciones. .....	42
Ilustración 7. Radiografía del medioambiente por comunidad autónoma. (greenpeace.org) .....	49
Ilustración 8. Consumo de energía primaria en España. Minetad.....	51
Ilustración 9. Barcelona en un episodio de contaminación. (elperiodico.com).....	54
Ilustración 10. Sulzer RT-Flex (Wärtsilä.com) .....	60
Ilustración 11.Comparativa emisiones NOx según tipo de motor. (Tecnología- maritima.com) .....	61

Ilustración 12. Temperaturas cámara de combustión y pistón. (dieselturbo.man.eu) .....	63
Ilustración 13. Admisión y gases de escape, MAN B&W S70ME (dieselturbo.man.eu) ....	64
Ilustración 14. Límite de emisiones de NOx por la IMO.....	65
Ilustración 15. Emisiones de partículas contaminantes en cruceros. (ara.cat) .....	67
Ilustración 16. Comparativa de emisiones de SOx entre los cruceros y el parque móvil. (Cortesía de AEInnova).....	67
Ilustración 17. Gráfico del ciclo de la biomasa. (comofunciona.com).....	73
Ilustración 18. Energía undimotriz mediante elemento flotante. (muyinteresante.com)..	74
Ilustración 19. Planta mareomotriz de La Rance, Francia. (researchgate.net).....	75
Ilustración 20. Gráfico de funcionamiento de la energía geotérmica. (educaplay.com)...	76
Ilustración 21. Central termosolar más grande del mundo, Ivanpah, desierto de Mojave. (tecpa.es) .....	78
Ilustración 22. Paneles solares fotovoltaicos. (solar-energia.net).....	79
Ilustración 23. Representación gráfica de las clases de viento. (LMWindpower.com).....	81
Ilustración 24. Mayor molino de viento, The Haliade-X, (ge.com) .....	82
Ilustración 25. Molino offshore de 10MW SG10 (siemensgamesa.com) .....	83
Ilustración 26. Entrada y salida, 75km, CC.....	84
Ilustración 27. Salida, 75km, CC.....	85
Ilustración 28. Entrada y salida, 200km, CC.....	86

Ilustración 29. Salida, 200km, CC.....	87
Ilustración 30. Entrada y salida, 400km, CC. ....	88
Ilustración 31. Salida, 400km, CC.....	89
Ilustración 32. 75km. Entrada y salida, corriente alterna.....	90
Ilustración 33. Salida,75km, corriente alterna. ....	91
Ilustración 34. Entrada y salida, 200km, CA.....	92
Ilustración 35. Salida, 200km, CA.....	93
Ilustración 36. Entrada y salida, 400km, CA.....	94
Ilustración 37.Salida 400km. CA.....	95
Ilustración 38. Resultados controlador.....	98
Ilustración 39. Red eléctrica.....	99
Ilustración 40. Generador .....	99
Ilustración 41. Los puntos de conexión previstos del puerto de Barcelona (Port de Barcelona) .....	109
Ilustración 42. Instalación solar en el puerto de Rotterdam. (diariorenovables.com).....	113
Ilustración 43. Turbinas eólicas puerto de Hamburgo. (Ulrich Mertens) .....	114
Ilustración 44. CO2 Neutral en el puerto de Rotterdam, video.....	121
Ilustración 45. Declaración ambiental puerto barcelona.....	123



## Listado de Tablas

Tabla 1. La energía en España (2010-2015). Ministerio de Industria, turismo y comercio. .....	50
Tabla 2. Potencia eléctrica instalada. [%] (ree.es) .....	52
Tabla 3. Cobertura de la demanda eléctrica peninsular. [%] (ree.es) .....	52
Tabla 4. Evolución de la generación eléctrica renovable y no renovable. [%] (ree.es).....	53
Tabla 5. Evolución de la generación eléctrica peninsular renovable [GWh]. (ree.es) .....	53
Tabla 6. Clases de viento. (LMwindpower.com) .....	81
Tabla 7. Comparativa modelos offshore Siemens Gamesa.....	111
Tabla 8. Inversión mejor caso. (offshore).....	115
Tabla 9. Inversión peor caso. (offshore) .....	116
Tabla 10. Instalación onshore.....	116



# Introducción

Las emisiones producidas por los gases de escape en motores de combustión y combustibles fósiles en general, se encuentra a día de hoy en boca de todos, algo que tristemente, debería haber pasado hace mucho tiempo. Actualmente la situación es crítica, gobiernos del mundo están intentando revertir la situación influenciando a los ciudadanos y proyectando nuevos planes medioambientales para los años venideros. Surgen algunas preguntas; ¿Será suficiente? ¿Llegamos a tiempo? ¿Qué podemos hacer?

La contaminación ambiental no está únicamente ligada a las emisiones de los gases de escape, existen otros productos dañinos para la salud y el ecosistema que llevan décadas contaminando nuestros ecosistemas. Desde productos químicos procedentes de distintos puntos de la industria, pasando por plásticos que llenan nuestros mares y océanos hasta las propias emisiones producidas por el transporte a nivel global.

La producción de energía eléctrica para el consumo humano ha sido y está siendo producida en gran parte a costa de generar elevadas cantidades de emisiones nocivas y elementos que contribuyen a que dicha contaminación continúe creciendo.

La globalización del planeta ha contribuido a un aumento de los desplazamientos terrestres, marítimos y aéreos. De todos estos desplazamientos de productos y bienes de consumo, prácticamente el 90% se realiza por vía marítima, que sigue siendo el transporte más limpio por tonelada transportada. En el transporte marítimo intervienen también las infraestructuras marítimas que constituyen junto con el resto de la red y los propios buques, todo el entramado de transporte mundial.

En ocasiones dichas infraestructuras no son todo lo limpias que deberían y podrían ser mejoradas para conseguir reducir, en la medida de lo posible, el nivel de emisiones emitidas por cada tonelada de carga transportada.

Actualmente puertos de todo el mundo están realizando o han realizado transiciones hacia la producción de energía eléctrica por medio de energías más limpias como el gas natural o energías renovables. La máxima adecuación de los puertos contribuiría positivamente para conseguir una correcta transición energética de futuro, más limpia y respetuosa con el medio ambiente y reduciendo los niveles de contaminación de grandes ciudades, especialmente las que cuentan con instalaciones portuarias.



# Capítulo 1: Situación medioambiental

## 1.1 Estado medioambiental nivel mundial

El problema de la contaminación es uno de los principales temas en los que se piensa cuando se trata de poner en situación el estado actual mundial. En los últimos tiempos ha habido un incremento de noticias y parece que se está empezando a tener conciencia sobre el tema en la población y sus gobiernos.

### 1.1.1 La contaminación y su globalización

La contaminación a nivel global está directamente relacionada con todo lo que cada ser humano realiza en su día a día, cada pequeño gesto contribuye positiva o negativamente al estado global del planeta.

Podríamos hablar del efecto mariposa para entender cómo, cualquier pequeño movimiento nacional o local puede generar un gran impacto en el cómputo global de la salud medioambiental de nuestro planeta. Desde el uso de un dispositivo móvil hasta el reciclaje de nuestros desperdicios.

Una de las primeras veces en las que se tomó conciencia de la globalización de la contaminación podríamos considerar el accidente nuclear de Chernobyl, 33 años atrás. En su día, el presidente de la República Checa, Vaclav Havel expresó: "Una radiactividad que ignora fronteras nacionales nos recuerda que vivimos en una civilización interconectada que envuelve el planeta. Cualquier cosa que ocurra en un lugar puede, para bien o para mal, afectarnos a todos".



*Ilustración 1. Vista aérea del reactor de Chernobyl, 1987.*

Problemas actuales como el estado de ciertos océanos, aguas dulces, ciudades altamente contaminadas y problemas en sectores determinados de la población han conseguido poner la voz de alarma y movilizar a los gobiernos para tomar medidas al respecto, llegados a este punto, ¿será suficiente? El estado español pretende, para 2050, no utilizar vehículos de combustión en nuestras calles, para ellos deberá sustituirse todo el parque móvil actual con el gasto económico y el impacto ambiental que supone, pero son medidas todavía por confirmar y estudiar.

No basta con referirse a la contaminación como un problema de contaminación del aire, producida por procesos industriales, transporte, etc, debemos considerar el computo global que incluye también la contaminación de los suelos por sustancias sólidas peligrosas como: los metales pesados, sustancias radiactivas, plásticos no biodegradables, etc. La contaminación de aguas superficiales y subterráneas por distintos tipos de vertidos, sustancias plásticas, líquidos contaminantes, restos de fármacos y otros compuestos químicos. Todo ello ha llegado incluso a generar un “ecosistema” de plásticos en nuestros océanos.

## 1.1.2 Consecuencias de la contaminación

### 1.1.2.1 Problemas ambientales:

El medioambiente se encuentra en serio peligro, por diversas amenazas que dañan el propio ecosistema y a todos los seres vivos que lo habitan. Para poder remediarlo se debe tener conciencia de los problemas existentes y su severidad.

#### 1.1.2.1.1 Cambio climático

El incremento desde el siglo XIX de las emisiones efecto invernadero a la atmósfera están derivando en lo que conocemos como cambio climático, que se define como; la variación en el estado del sistema climático que es constituido por la atmósfera, la hidrósfera, la criosfera, la biosfera y la litosfera. Un equilibrio que perdura durante periodos largos de tiempo hasta que alcanza un equilibrio, en su transcurso puede afectar a valores meteorológicos de manera variable y extrema.



*Ilustración 2. Bloques de hielo perdiendo volumen.*

Los cambios climáticos se han dado en la historia de la tierra desde sus inicios, de manera gradual y repentina. El cambio climático actual es antropogénico, por tanto, producido

por el efecto directo o indirecto del ser humano, y está directamente relacionado con el aumento del efecto invernadero que es causado por las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles.

Con la irrupción del consumo de combustibles fósiles a finales del siglo XVII, se comenzó con el aumento de la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, actualmente se encuentra en 1,4 ppm al año, todo ello ha provocado un en la temperatura media global en los últimos 150 años de 0,5°C, se estima que en la próxima década alcance 1°C y en 2050 2°C. En el cambio climático también influyen otros gases de efecto invernadero tales como el metano, óxido nitroso, los hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre.

#### *1.1.2.1.2 Contaminación*

La contaminación ambiental provoca impactos negativos en los ecosistemas por la presencia de componentes nocivos (químicos, físicos o biológicos) suponiendo un perjuicio para los seres vivos que lo habitan. La contaminación ambiental suele estar causada por la actividad humana, desde la explotación de recursos naturales a la emisión de gases de efecto invernadero comentados anteriormente.

La contaminación puede clasificarse según su fuente, o por su forma contaminante.

- Sustancias químicas
- Residuos urbanos
- Petróleo
- Radiaciones ionizantes
- Contaminantes gaseosos

La naturaleza no tiene fronteras y por tanto todo tipo de contaminación puede expandirse por la atmósfera y océanos, expandiendo el problema de contaminación a nivel mundial

y afectando directamente al cambio climático. Las formas de contaminación pueden clasificarse según el tipo de contaminación:

### **Contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica consiste en la liberación de sustancias químicas y partículas a la atmósfera causando alteraciones en su composición. Estas alteraciones pueden ser o son, perjudiciales para la salud de los seres vivos. Los gases como el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los clorofluorocarbonos y los óxidos de nitrógeno son los gases contaminantes más comunes. Los fotoquímicos como el ozono o el smog reaccionan con la luz solar y aumentan gracias a los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno. También existe contaminación con polvo, que es medido en micrómetros. La contaminación atmosférica puede ser a nivel local, cuando solo afecta a la zona en la que se producen, o global cuando esos contaminantes afectan al equilibrio global del planeta.



*Ilustración 3. Altos niveles de contaminación atmosférica en Shanghái. (elpais.com)*

### **Contaminación hídrica**

La contaminación hídrica se da por la contaminación de aguas mediante vertidos a ríos que descargan en lagos, mares y océanos o en los propios océanos. Por derrames o descargas de aguas residuales, o descargas de basura. También se ve contaminada por la

liberación de gases de efecto invernadero, con la consiguiente acidificación de los océanos. Los hundimientos de buques y derrames de carga también son causantes de este tipo de contaminación. Todo ello sin considerar todo el plástico que acaba llegando a mares y océanos desde los ríos y arrojados directamente al mar, afectando directamente a su flora y fauna.

### **Contaminación del suelo**

La contaminación del suelo se da cuando, productos químicos son liberados por un derrame o filtraciones sobre o bajo la tierra. Estos contaminantes suelen ser hidrocarburos, metales pesados, herbicidas y pesticidas, etc. Los vertederos entierran cantidades enormes de basura y son un foco de contaminación del suelo muy grande. La contaminación de suelo puede derivar también en contaminación hídrica, cuando dichos vertidos se filtran hacia aguas subterráneas.

### **Contaminación por basura**

Las grandes acumulaciones de residuos y de basura son un problema cada día mayor, se origina por las grandes aglomeraciones de población en las ciudades industrializadas o que están en proceso de urbanización. La basura es acumulada mayormente en vertederos, pero muchas veces es arrastrada por el viento o ríos y se dispersa por la superficie de la tierra y algunas veces llega hasta el océano.

### **Chatarra electrónica**

Todos los deshechos electrónicos, suelen requerir de un desmantelamiento previo para su correcta separación y reciclaje, en cambio muchas veces se acumulan en su estado original, con todo lo que ello conlleva. Siendo almacenados en vertederos o simplemente generando residuos.

### **Basura espacial**



La basura espacial son restos de satélites y otros componentes que acaban orbitando alrededor de la tierra cuando dejan de ser operativos sin que nunca sean recuperados. Esta basura espacial es capaz de dañar otros satélites operativos generando todavía más basura en la órbita terrestre.

### **Contaminación radiactiva**

El uso de materiales radioactivos como combustible o para armamento genera residuos muy peligrosos y con una eliminación muy lenta. Dichos residuos deben ser almacenados durante años.

### **Contaminación genética**

Es la contaminación por transferencia incontrolada o no deseada de material genético hacia una población salvaje. La contaminación genética afecta al patrimonio genético de una especie o población. Puede ser contaminación genética de organismos modificados a no modificados y viceversa, la contaminación de alguno de ellos podría llegar a la extinción de la especie. Los grandes afectados en estos casos son la flora de un ecosistema, cultivos.

### **Contaminación electromagnética**

Se produce por las radiaciones dentro del espectro electromagnético, normalmente generadas por equipos electrónicos u otros elementos producto de la actividad humana; desde torres de alta tensión o transformadores a antenas de telefonía móvil, electrodomésticos y otros aparatos electrónicos. Esta contaminación puede llegar a producir peligros de 3 tipos distintos

- Peligros eléctricos
- Peligros de incendio
- Peligros biológicos

## **Contaminación térmica**

La contaminación térmica se produce cuando un cuerpo aumenta o disminuye su temperatura por acción externa, normalmente causada por el ser humano. Usar agua para refrigerar una central nuclear, por ejemplo. Todo ello puede producir efectos negativos en los seres vivos en los cuales su hábitat se ve afectado por este cambio de temperatura. El aumento de la temperatura del agua reduce la solubilidad del oxígeno, ello conlleva una reducción de seres vivos alrededor del punto contaminante.

## **Contaminación acústica**

La contaminación acústica se refiere al ruido de vehículos, aviones e industrial o ruidos de alta intensidad que pueden reducir la capacidad auditiva del hombre y dañar el ecosistema. La contaminación acústica es uno de los problemas que presenta la instalación de un molino eólico en un nuevo emplazamiento.

## **Contaminación visual**

Es la contaminación que bloquea el campo de visión en un entorno determinado, puede darse por; torres eléctricas, vallas publicitarias, edificios, accidentes geográficos, vertederos, etc...

## **Contaminación lumínica**

Incluye la sobre iluminación e interferencia astronómica (que disminuye y distorsiona el brillo de las estrellas o cualquier objeto estelar afectando el trabajo de observatorios y astrónomos), esta contaminación se da durante la noche en cercanías de las ciudades, por esto los observatorios astronómicos importantes se asientan en regiones alejadas de las urbes.

También podemos clasificarlas por la extensión de la fuente:



## **Contaminación puntual**

La contaminación puntual es el tipo de contaminación que se da de manera puntual en un lugar concreto. Podría considerarse contaminación puntual, la producida por la chimenea de una fábrica o el desagüe en un río.

## **Contaminación lineal**

Son los tipos de contaminación que se producen a lo largo de una línea. Por ejemplo, la contaminación acústica, química, residuos arrojados a una vía terrestre o marítima o los desechos de combustible del transporte, ya sea marítimo, terrestre o aéreo.

## **Contaminación difusa**

Es el tipo de contaminación que se produce cuando el contaminante llega al ecosistema de una manera dispersa. Por ejemplo, la contaminación de aguas subterráneas y suelos por pesticidas y fertilizantes entraría dentro de este grupo, esta misma contaminación cuando es arrastrada por la lluvia, como la propia lluvia ácida. Afectando de manera directa o indirecta a los animales que lo habitan, modificando la composición de los suelos del ecosistema y entrando en la cadena alimentaria.

### *1.1.2.1.3 Deforestación*

La deforestación es un proceso provocado normalmente por acción humana, en el que se destruye superficie forestal. La deforestación normalmente es provocada para la obtención de recursos para la industria maderera y papelera o para conseguir superficie para explotaciones ganaderas, agrícolas o mineras. En ocasiones se realiza con talas o quemas controladas.

La deforestación tiene un gran impacto en la atmósfera, es un contribuyente claro al calentamiento global y podría citarse como uno de los grandes contribuidores al efecto

invernadero, se podría decir que en algunas zonas es un tercio de las emisiones producidas por el hombre y prácticamente un 10% de media a nivel mundial. A parte de las emisiones provocadas directamente con la deforestación, el hecho de tener una superficie arbórea menor se traduce en una menor absorción del CO<sub>2</sub> de la atmósfera.



*Ilustración 4. Deforestacion en el Amazonas de Brasil. (teorema.com)*

Las plantas extraen el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de la fotosíntesis, quedándose con el carbono, que incorporan a su estructura (raíces, tallos, hojas, flores) en forma de moléculas orgánicas y liberando parte del oxígeno. Aunque también liberan algo de CO<sub>2</sub> durante su proceso normal de respiración. Solo cuando un árbol o un bosque crecen pueden extraer carbono de la atmósfera, almacenándolo en sus tejidos. Tanto la putrefacción de la madera como su quema devuelven a la atmósfera ese carbono almacenado. Para que los bosques realmente extraigan carbono de la atmósfera debe haber una acumulación neta de madera. Una forma es cortar los árboles, transformar la madera en objetos duraderos y reemplazar con nuevos árboles los cortados. La deforestación también puede hacer que se libere el CO<sub>2</sub> acumulado en el terreno. Los bosques pueden ser tanto sumideros de carbono como fuentes, dependiendo de las

circunstancias ambientales. Los bosques maduros (donde la cantidad de materia vegetal no varía significativamente) alternan entre comportarse como fuentes netas y sumideros netos, pero esta variación resulta insignificante en relación con la enorme cantidad de carbono que tienen almacenada.

En las áreas que han sido deforestadas, el terreno se calienta más rápidamente por la radiación solar y alcanza mayores temperaturas lo que provoca un aumento de la temperatura de la zona. Este aumento de la temperatura del suelo no se considera un contribuidor al calentamiento global en sí, pero sí para el área afectada.

#### *1.1.2.1.4 Degradación del suelo*

La degradación del suelo afecta negativamente a la capacidad para soportar vida del propio ecosistema, siendo más complicado aceptar, almacenar y reciclar agua, nutrientes y materia orgánica. El suelo pierde propiedades importantes. La degradación del suelo es causada por los siguientes procesos:

Erosión acelerada: Arrastre de materiales del suelo por diversos agentes como el agua y el viento, lo cual genera la improductividad del suelo.

Salinidad del suelo: Acumulación excesiva de sodio y sales solubles en la parte donde se desarrollan las raíces de los cultivos.

Aumento de densidad aparente del suelo: en las capas superficiales o profundas y su resultado es el deterioro gradual de la materia orgánica y la actividad biológica

Contaminación química: Los vertidos antropogénicos y el uso excesivo de fertilizantes y biocidas para el control de plagas y enfermedades, producen la contaminación química de los suelos

**Perdida de nutrientes:** Empobrecimiento gradual o acelerado del suelo por sobreexplotación o monocultivo, lo que trae como consecuencia la baja fertilidad e improductividad de los suelos.

**Urbanización:** La cubrición del suelo con elementos sintéticos (cemento, asfalto...) implica su desaparición. La nueva superficie, generalmente impermeable, es poco apta para el desarrollo de la vegetación y la retención de agua y nutrientes. En muchos casos, el fenómeno afecta a los suelos de fondo del valle, con alto potencial productivo.

### *1.1.2.1.5 Energía*

El consumo de energía es necesario para el desarrollo económico y social. El uso responsable de la energía es necesario para poder seguir consumiéndola sin necesidad de llegar a un punto de no retorno. El abuso de consumo energético tiene consecuencias importantes sobre el desarrollo global:

- Agotamiento de energías no renovables, como los combustibles fósiles.
- Impacto negativo sobre el medioambiente
- Dificultad de abastecimiento
- Dependencia energética

La producción y el uso de la energía suponen la principal causa, junto con el transporte, de las emisiones de gases de efecto invernadero, gases responsables del cambio climático. Por ello, una de las formas de actuar para limitar e impedir sus gravísimas consecuencias ambientales, sociales y económicas, relacionadas con el aumento de temperatura, subida del nivel del mar y disminución de precipitaciones, entre otras, consiste en reducir el consumo energético. El modelo de generación, transporte y consumo actual, absolutamente dependiente de los combustibles fósiles, es insostenible como consecuencia del cambio climático que supone.

En la actualidad, el incremento de la demanda y consumo de energía y las dificultades que existen para satisfacer esta demanda con las fuentes de energía disponibles, están prefigurando un escenario de crisis energética global.

El consumo elevado de energía a nivel mundial y el uso de combustibles fósiles para su producción, genera un gran impacto ambiental, cosa que preocupa para el desarrollo humano en los próximos años. El uso de energías renovables y de la eficiencia energética son algunas de las posibles soluciones que se presentan.

#### *1.1.2.1.6 Escasez de agua*

La escasez de agua es la falta de recursos hídricos para consumo en una región concreta. Actualmente la escasez de agua afecta a 2800 millones de personas en todo el mundo, y prácticamente el 45% no tiene acceso a agua potable.

La escasez de agua puede deberse a dos mecanismos; la escasez física de agua o la escasez económica. La escasez física de agua es el resultado de la insuficiencia de recursos naturales para abastecer una región concreta. En cambio, la escasez económica es la insuficiencia de un país o región para poder abastecer a la población con agua potable o con un saneamiento básico.



*Ilustración 5. Terreno seco en Extremadura. (Publico.com)*

La cantidad total de agua dulce disponible está disminuyendo debido al cambio climático, el cual es responsable del retroceso de los glaciares, y la reducción del caudal de los ríos,

lagos y estanques. Muchos acuíferos fueron sobreexplotados y no se recargan suficientemente. Aunque no se agota el suministro total de agua dulce, una parte importante ha sido contaminada, salada, inadecuada o no disponible para el consumo humano, ni para la industria y la agricultura. Para evitar una crisis mundial del agua, los agricultores tendrán que esforzarse por aumentar la productividad para satisfacer las crecientes demandas de alimentos, mientras que la industria y las ciudades tendrán que encontrar maneras de utilizar el agua de manera más eficiente.

#### *1.1.2.1.7 Pérdida de biodiversidad*

Un millón de los ocho millones de especies que existen en el planeta, están en peligro de extinción. La pérdida de biodiversidad es la disminución o desaparición de seres vivos que habitan en el planeta; plantas, animales, hongos, microorganismos e incluso los patrones naturales de un ecosistema. Actualmente la pérdida de biodiversidad es tan grave que es considerada como la sexta extinción masiva, siendo entre cien y mil veces mayor que la considerada natural. Las causas de la extinción pueden ser directas:

**Cambio de uso de suelo:** El “uso de suelo” se refiere al conjunto de acciones humanas llevadas a cabo en un determinado tipo de cobertura terrestre, es decir, los efectos sociales y económicos para los cuales la tierra se gestiona

**Cambio climático:** El fenómeno de cambio climático alude a una alteración en el promedio y/o en la variabilidad de las propiedades del clima, la cual persiste por un periodo extendido de tiempo.

**Acidificación del océano:** Este fenómeno ocurre debido a que el incremento de CO<sub>2</sub> en el océano disminuye los niveles de pH de la superficie marina, aumentando su acidez

**Alteración de los ciclos del nitrógeno y fósforo**

**Invasión de especies exóticas:** Las especies exóticas invasoras representan una de las principales amenazas a la biodiversidad mundial.

**Explotación de especies:** En el caso de las extinciones de fauna marina, el motor dominante de sus extinciones no es el cambio climático ni la acidificación subsecuente, sino la pesca realizada por los humanos

#### *1.1.2.1.8 Residuos*

La generación mundial está creciendo rápidamente, siguiendo la tendencia actual, en los próximos 30 años, aumentaría un 70% impulsada por la rápida urbanización y el crecimiento de la población.

Representando un 16% de la población mundial, los países con rentas más altas, representan el 34% de los residuos mundiales. La región del Pacífico y Asia oriental representa un 23% de todos los residuos. Las estimaciones para los próximos 30 años vaticinan que, Asia meridional duplicará su cantidad actual de residuos y la región de África subsahariana puede incluso llegar a triplicar sus valores actuales.

Los plásticos son los tipos de residuos más problemáticos que existen, ya que, si no se recogen y manejan adecuadamente pueden llegar a contaminar vías fluviales y ecosistemas durante cientos/miles de años. Los plásticos representan el 12% de todos los residuos.

#### *1.1.2.1.9 Sobrepesca*

La sobreexplotación de los recursos pesqueros es uno de los principales problemas que padecen nuestros océanos, algo que amenaza la supervivencia de las especies y del propio ecosistema dónde habitan. La sobrepesca se define cómo la captura de un número muy elevado de ejemplares, hasta tal punto que se considera imposible su repoblación.

Las grandes flotas pesqueras son capaces de pescar grandes cantidades de pescado para poder alimentar a la población mundial. En las últimas décadas se han implementado



regulaciones que tratan de controlar la pesca masiva para tener un mayor control mediante la regulación de las toneladas pescadas por cada buque pesquero. Con el paso de los años, el colapso de ciertas especies ha hecho que muchas de estas flotas comerciales se adentren en aguas más profundas y busquen la pesca en niveles inferiores de la cadena alimentaria, esto provoca una reacción en cadena que perturba el propio equilibrio de la cadena trófica.

Actualmente existen medidas para contener la sobrepesca, además de las regulaciones pesqueras en los estados responsables, se está potenciando la acuicultura para poder abastecer a la población sin necesidad de continuar con la pesca masiva en mares y océanos. Las instalaciones como piscifactorías, cada vez más avanzadas, consiguen un control del animal desde su nacimiento hasta su consumo y evitan la pesca de millones de toneladas anuales.

### *1.1.3 Control y prevención de la contaminación ambiental*

La rápida industrialización ha dado lugar a innumerables avances y accidentes que han contaminado los recursos terrestres, atmosféricos y acuáticos, amenazando los ecosistemas y sus integrantes. Hasta no hace mucho tiempo, los principales esfuerzos para preservar el medioambiente se daban en la administración y gestión de los residuos, cosa que consigue mitigar el problema localmente y a corto plazo. A medida que el ritmo industrial se fue intensificando, los efectos fueron aflorando y apareció el paradigma del control de la contaminación como principal estrategia para proteger el medioambiente.

La principal baza que se ha utilizado ha sido la de limitar y controlar las emisiones contaminantes, desde residuos hasta emisiones directas de gases nocivos. Actualmente la aplicación de nuevas tecnologías para combatir dichas emisiones ha conseguido demostrar que cuenta con una gran eficacia. Desde los sistemas de limpieza de gases de escape en motores de combustión como sistemas de control y separación de residuos.



El control de las fuentes emisoras entraña el riesgo de poder transferir la contaminación entre medios, pudiendo causar problemas ambientales graves o incluso contaminando el mismo medio del cual se intenta evitar. El control de las emisiones también tiene asociado un alto coste derivados de los cumplimientos de las normativas existentes y de su propia aplicación.

Por tanto, preferiblemente el camino correcto debería pasar por la prevención de la propia contaminación. De este modo, además de controlar las emisiones existentes se intenta generarlas lo mínimo posible. Un ejemplo muy claro sería la utilización de energías renovables para la producción eléctrica en lugar de generar dicha energía mediante la combustión de combustibles fósiles.

## 1.2 Estado medioambiental Europa

A nivel europeo, el nivel de contaminación no es tan elevado cómo puede serlo en el resto del mundo. Las emisiones de gases de efecto invernadero han descendido en Europa un 19 % desde 1990, a pesar de que la producción económica ha aumentado un 45 %. Asimismo, se ha producido una disociación absoluta entre otras presiones ambientales y el crecimiento económico. Ha disminuido el consumo de combustibles fósiles, y también se han reducido algunas emisiones contaminantes del transporte y de la industria. Cifras más recientes indican que el uso total de recursos por parte de la UE ha disminuido en un 20 % desde 2007 y que se generan menos residuos y se recicla más en prácticamente todos los países.

Los riesgos medioambientales para la salud han disminuido en las últimas décadas, aun así, se estima que la contaminación atmosférica causa 430 000 muertes prematuras en la Unión Europea. El objetivo de reducción de emisiones actual asciende a un intervalo de entre el 80 y el 95% antes de 2015, el esfuerzo debe ser grande.

La Unión Europea tiene una lucha constante con la prevención y el control de emisiones y la contaminación en general. Sin embargo, existen países más comprometidos y con medidas más estrictas que otros. Todavía a día de hoy, los combustibles fósiles siguen representando tres cuartas partes del suministro energético en la UE.



*Ilustración 6. Logo de la comisión Europea, encargada de llevar a cabo todas las acciones.*

En los últimos 40 años se han establecido amplias legislaciones en lo relativo al medioambiente, actualmente se trata de la normativa más exhaustiva del mundo. Durante estos años el nivel de protección en la mayor parte de Europa ha mejorado perceptiblemente, la contaminación del suelo, aguas y atmósfera han sido reducidas significativamente, aportando beneficios ambientales, económicos y sociales. A continuación, se repasarán los últimos artículos publicados por la UE para la lucha contra el medio ambiente ([1][2][3]).

### 1.2.1 Implementación ambiental

La Comisión ayuda a los estados miembros a aplicar mejor las normas medioambientales de la UE para proteger a los ciudadanos y mejorar su calidad de vida.

La Comisión publicó el 5 de abril la segunda Revisión de Implementación Ambiental, parte de su iniciativa lanzada en 2016 para mejorar la implementación de la política ambiental europea y las reglas comúnmente acordadas en todos los Estados miembros de la UE.

La aplicación de la política y la legislación medioambientales de la UE no solo es esencial para un medio ambiente sano, sino que también abre nuevas oportunidades para el crecimiento económico sostenible, la innovación y el empleo. La implementación completa de la legislación ambiental de la UE podría ahorrarle a la economía de la UE alrededor de 55 mil millones de euros cada año en costos de salud y costes directos para el medio ambiente.

La Revisión traza la situación de la implementación de políticas y normas ambientales en cada país de la UE e identifica las causas de las brechas de implementación. Ayuda a encontrar soluciones antes de que los problemas se vuelvan urgentes y tiene como objetivo ayudar a los tomadores de decisiones nacionales al delinear las prioridades que requieren su atención.

El paquete incluye 28 informes de países que muestran el estado de la aplicación de la legislación medioambiental de la UE, así como las oportunidades de mejora en cada Estado miembro; y una Comunicación que saque conclusiones y defina tendencias comunes a nivel de la UE, así como recomendaciones para mejorar a todos los Estados miembros con acciones prioritarias clave.

### **Situación actual en las principales áreas políticas**

La revisión muestra que dieciocho Estados miembros continúan luchando con altos niveles de emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) y quince países necesitan reducir aún más las emisiones de partículas (PM2.5 y PM10).

Dado el impacto de la contaminación del aire en la salud, en línea con su comunicación de mayo de 2018 "Una Europa que protege: aire limpio para todos", la Comisión ha

entablado diálogos sobre aire limpio con varios países de la UE, además de acciones de aplicación más específicas.

Si bien en general se ha fortalecido el marco de políticas para la economía circular, la prevención de residuos sigue siendo un desafío importante para todos los Estados miembros. En cuanto a la gestión de residuos, nueve países están en camino y cinco ya han alcanzado los objetivos de reciclaje, pero catorce corren el riesgo de perder el objetivo de reciclaje de residuos municipales de 2020. Los sistemas de gestión de residuos sólidos y eficientes son un componente esencial de nuestra economía circular.

En lo que respecta al agua, queda mucho por hacer para alcanzar plenamente los objetivos de las directivas sobre el agua y, en particular, el buen estado de nuestros cuerpos de agua hasta 2027. Las aguas residuales urbanas todavía no se tratan adecuadamente en dos tercios de los Estados miembros. El aumento de las inversiones es esencial para cumplir estos objetivos y los fondos de la UE continuarán respaldando los esfuerzos de implementación.

Cuando se trata de la protección de la naturaleza y la biodiversidad, la red Natura 2000 ha seguido expandiéndose en tierra y mar. La UE ya ha superado el objetivo de definir el 10% de sus áreas costeras y marinas como áreas marinas protegidas para 2020, según lo establecido por el convenio sobre la diversidad biológica. No obstante, la mayoría de los Estados miembros deben acelerar sus esfuerzos para completar y gestionar la red Natura 2000.

En cuanto al cambio climático, los estados miembros han avanzado mucho en la aplicación de la legislación climática de la UE y es probable que se cumplan los objetivos de 2020. Sin embargo, los esfuerzos en cada estado miembro y en la UE deben intensificarse para cumplir con nuestros compromisos internacionales en virtud del Acuerdo de París y evitar las peores consecuencias del cambio climático.

La revisión de implementación ambiental implementó una nueva herramienta, el programa Peer-to-Peer, para estimular a las autoridades ambientales de diferentes Estados Miembros a aprender de las experiencias de los demás a través de las fronteras. Desde su lanzamiento, todos los Estados miembros participaron en al menos un evento que abarcó temas de economía circular, calidad del aire, regulación de la madera, naturaleza y biodiversidad y calidad del agua.

La Revisión también evalúa algunos factores que podrían mejorar drásticamente la implementación, como la gobernanza ambiental. La comisión exhorta a los estados miembros a mejorar la integración de los objetivos medioambientales con otros objetivos políticos, mejorar la eficiencia y la eficacia de la administración pública y ser más transparentes con la información medioambientalmente relevante. También hay margen para involucrar aún más a las autoridades regionales y locales y otras partes interesadas para abordar los principales desafíos de implementación.

### 1.2.2 Estrategia Europea para plásticos

Los plásticos son un material importante en nuestra economía, y la vida cotidiana moderna es impensable sin ellos. Al mismo tiempo, sin embargo, pueden tener serias desventajas en el medio ambiente y la salud. La acción sobre los plásticos se identificó como una prioridad en el Plan de Acción de la Economía Circular, para ayudar a las empresas y los consumidores europeos a utilizar los recursos de una manera más sostenible.

La primera estrategia europea para los plásticos en una economía circular adoptada en enero de 2018 transformará la forma en que los productos de plástico se diseñan, usan, producen y reciclan en la UE. Un mejor diseño de productos plásticos, mayores tasas de reciclaje de residuos plásticos, más y mejores reciclados de calidad ayudarán a impulsar el mercado de plásticos reciclados. Brindará un mayor valor agregado para una industria de plásticos más competitiva y resistente.

La estrategia es parte de la transición de Europa hacia una economía circular, y también contribuirá a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los compromisos climáticos globales y los objetivos de política industrial de la UE. Esta estrategia ayudará a proteger nuestro medio ambiente, reducir la basura marina, las emisiones de gases de efecto invernadero y nuestra dependencia de los combustibles fósiles importados. Apoyará patrones de consumo y producción más sostenibles y seguros para los plásticos.

La Comisión Europea está promoviendo una campaña de promesas en toda la UE para la absorción de plásticos reciclados y pide a las partes interesadas que presenten ambiciosas promesas voluntarias para impulsar la absorción de plásticos reciclados.

Propuesta de directiva sobre plásticos de un solo uso;

La Comisión Europea propuso en mayo de 2018 nuevas reglas en toda la UE para apuntar a los 10 productos de plástico de un solo uso que se encuentran con mayor frecuencia en las playas y los mares de Europa, así como a los artes de pesca perdidos y abandonados. En conjunto, constituyen el 70% de todos los artículos de basura marina.

### 1.2.3 Plan de acción ambiental 2020

En las últimas décadas, la Unión Europea ha implementado una amplia gama de legislación ambiental. Como resultado, la contaminación del aire, el agua y el suelo se ha reducido significativamente. La legislación sobre productos químicos se ha modernizado y el uso de muchas sustancias tóxicas o peligrosas se ha restringido. Hoy, los ciudadanos de la UE disfrutan de la mejor calidad de agua del mundo y más del 18% del territorio de la UE ha sido designado como áreas protegidas para la naturaleza.

Sin embargo, muchos desafíos persisten y estos deben abordarse juntos de manera estructurada.

El Séptimo Programa de Acción Ambiental (PEA) guiará la política medioambiental europea hasta 2020. Para dar una dirección más a largo plazo, establece una visión más allá de eso, de dónde quiere que esté la Unión para 2050:

"En 2050, vivimos bien, dentro de los límites ecológicos del planeta. Nuestra prosperidad y medio ambiente saludable provienen de una economía innovadora y circular donde no se desperdicia nada y donde los recursos naturales se gestionan de manera sostenible, y la biodiversidad se protege, valora y restaura de manera que mejore la capacidad de recuperación de nuestra sociedad. Nuestro crecimiento bajo en carbono se ha desacoplado por mucho tiempo del uso de recursos, marcando el ritmo para una sociedad global segura y sostenible ".

Identifica tres objetivos clave:

- Para proteger, conservar y mejorar el capital natural de la Unión
- Convertir a la Unión en una economía baja en carbono competitiva, ecológica y eficiente en el uso de los recursos
- Para proteger a los ciudadanos de la Unión de las presiones y riesgos relacionados con el medio ambiente para la salud y el bienestar

Cuatro llamados "facilitadores" ayudarán a Europa a cumplir estos objetivos:

- Mejor implementación de la legislación
- Mejor información al mejorar la base de conocimiento
- Más y más sabia inversión para el medio ambiente y la política climática
- Integración completa de los requisitos y consideraciones ambientales en otras políticas.

Dos objetivos prioritarios horizontales adicionales completan el programa:

- Para hacer que las ciudades de la Unión sean más sostenibles

- Para ayudar a la Unión a abordar los desafíos ambientales y climáticos internacionales de manera más efectiva.

El programa entró en vigor en enero de 2014. Ahora corresponde a las instituciones de la UE y a los estados miembros garantizar su implementación, y que los objetivos prioritarios establecidos se cumplan para 2020.

### 1.3 Estado medioambiental España

El estado español, es el estado miembro de la Unión Europea que más incumple las normativas ambientales. Hasta hace un año el medioambiente ocupaba tan solo un 0,44% de los temas tratados en el congreso de los diputados.

España es el país con más expedientes abiertos por infracciones medioambientales, triplicando la media europea (10). La inversión estatal en materia medioambiental es muy baja, actualmente se dedica tan solo un 1,8% del PIB a la inversión en medioambiente. Con ello, España se sitúa en el cuarto lugar por la cola de todos los países miembros de la Unión Europea. La calidad ambiental representa la calidad del aire, suelo, aguas de un entorno, en la ilustración de la siguiente página podemos observar cómo no las áreas más industrializadas son las más afectadas. Esto se debe a que factores como los fertilizantes y otros productos químicos, pueden en algunas ocasiones, dañar lo mismo o incluso más el medio en el que habitamos. Un caso muy claro es la comunidad de Aragón que aparece con el peor índice de todas y su población es de las más bajas, ello es debido a que es una comunidad autónoma en el que existe gran cantidad de agricultura y ganadería que genera emisiones, residuos y utiliza sustancias nocivas.



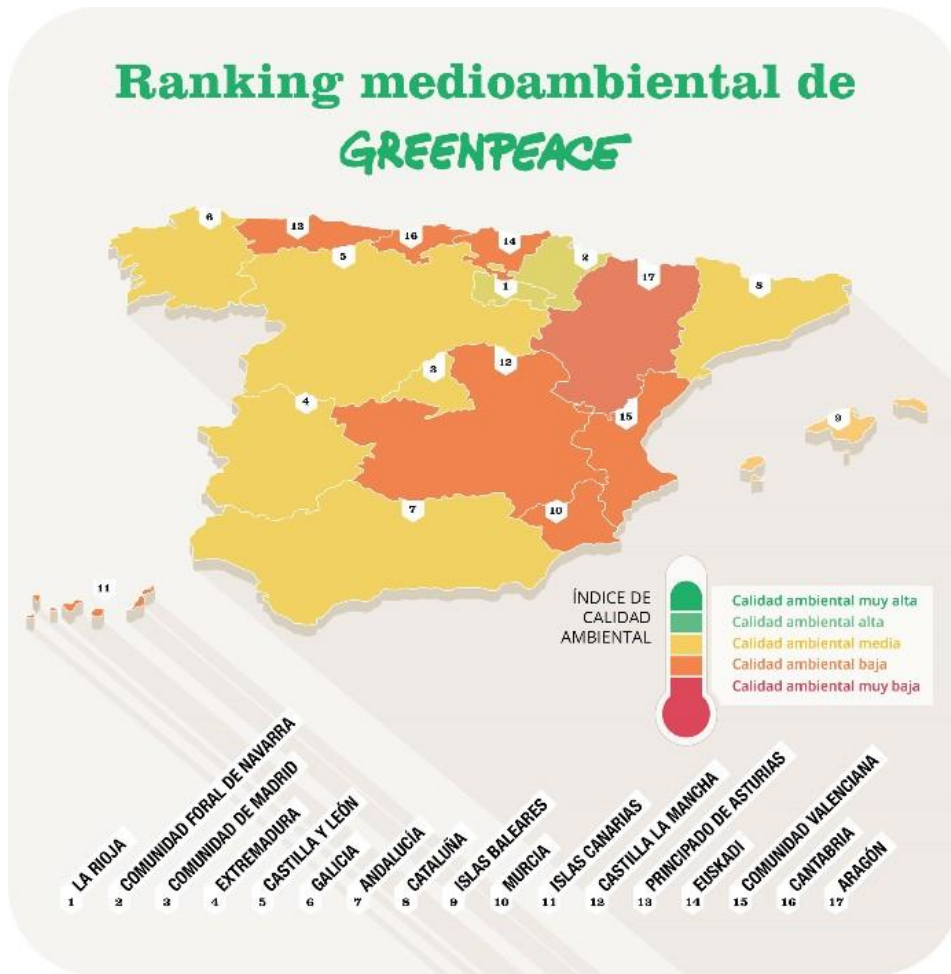


Ilustración 7. Radiografía del medioambiente por comunidad autónoma. (greenpeace.org)

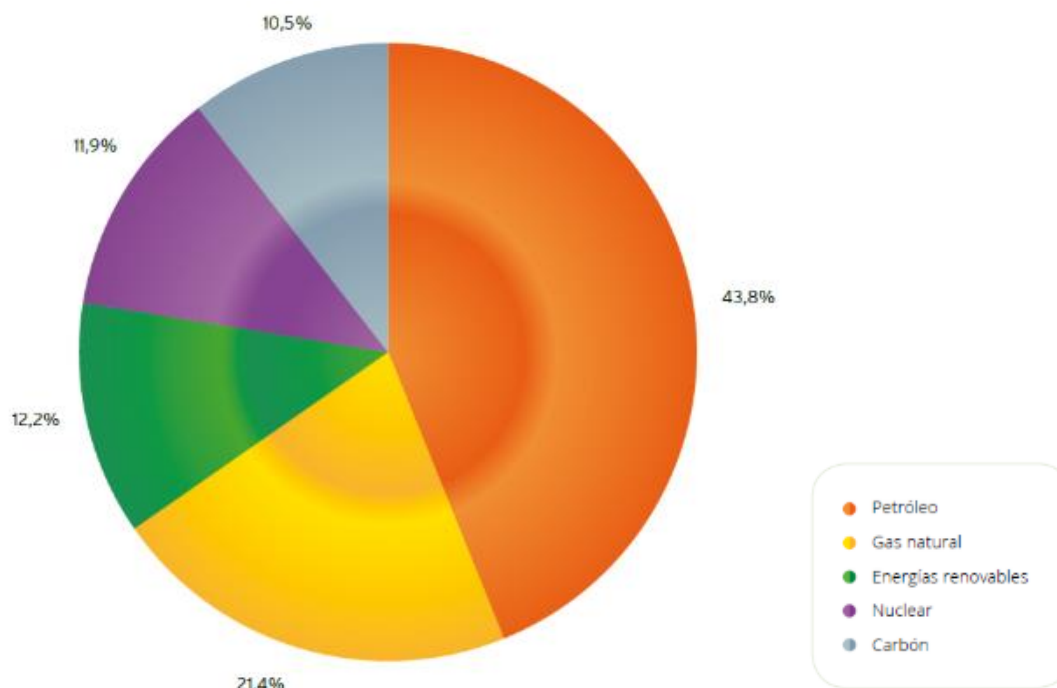
### 1.3.1 Producción de energía en España

España es el país más árido de toda Europa y con un volumen de lluvia muy desigual, por tanto, las zonas verdes en el estado son ligeras y no muy abundantes. Todo ello sumado a que la producción de energía proviene en su mayor parte de combustibles fósiles (77%). En la siguiente tabla podemos ver el consumo energético del país, en función de su fuente de energía:

*Tabla 1. La energía en España (2010-2015). Ministerio de Industria, turismo y comercio.*

Fuente de energía	Consumo de energía primaria (ktep) 2009	Consumo de energía primaria (ktep) 2010	Consumo de energía primaria (ktep) 2014	Consumo de energía primaria (ktep) 2015
<b>Petróleo</b>	62 540	63 684	50 447	52 434
<b>Gas natural</b>	31 096	31 003	23 662	24 590
<b>Nuclear</b>	13 750	16 155	14 934	14 927
<b>Carbón</b>	10 550	8463	11 639	14 426
<b>Residuos no renovables</b>			204	260
<b>Energías renovables</b>	<b>12 151</b>	<b>14 678</b>	<b>17 796</b>	<b>17 244</b>
<b>Biomasa, biocarb. y resid. renovables</b>	5898	6488	6828	7371
<b>Eólica, solar y geotérmica</b>	3986	4800	7599	7476
<b>Hidráulica</b>	2266	3390	3369	2397
<b>Saldo eléctrico</b>	-695	-717	-293	-13
<b>Total</b>	<b>130 535</b>	<b>132 123</b>	<b>118 389</b>	<b>123 868</b>

España se comprometió con la Unión Europea a conseguir alcanzar que un 20% de la energía producida fuera mediante las energías renovables en 2020, y del 27% en 2030. Actualmente no es más del 13%. En el siguiente gráfico se puede observar, como actualmente, todavía estamos lejos del objetivo.



*Ilustración 8. Consumo de energía primaria en España. Minetad.*

El último informe de Red Eléctrica Española destaca cómo la demanda eléctrica en el año 2018 pudo ser cubierta en un 40,1% por energías renovables, la potencia eléctrica instalada está tendiendo a rejuvenecer el parque de generación eléctrica mediante combustibles fósiles y energías no renovables dando paso a energías renovables, sobre todo la energía eólica. A continuación, podemos observar la potencia total instalada actualmente en España (31 de diciembre de 2018), el consumo del último año completo y la evolución del consumo eléctrico de renovables en los últimos años. En el podemos

observar cómo, actualmente, aunque las energías no renovables siguen siendo mayoritarias, nos vamos acercando a la igualdad, con el objetivo de seguir aumentando el relevo de las no renovables por renovables.

Tabla 2. Potencia eléctrica instalada. [%] (ree.es)

■ Nuclear	7,2%	■ Eólica	23,4%
■ Carbón	9,7%	■ Hidráulica	17,3%
■ Ciclo combinado	24,9%	■ Solar fotovoltaica	4,5%
■ Cogeneración	5,8%	■ Solar térmica	2,3%
■ Residuos no renovables	0,5%	■ Otras renovables	0,9%
■ Turbinación bombeo	3,4%	■ Residuos renovables	0,1%

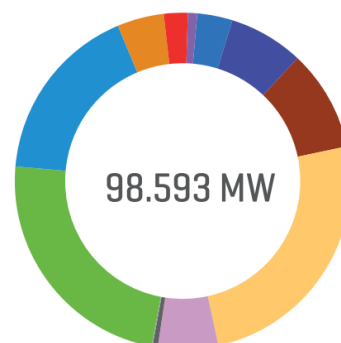


Tabla 3. Cobertura de la demanda eléctrica peninsular. [%] (ree.es)

■ Nuclear	20,6%	■ Eólica	19,0%
■ Carbón	13,5%	■ Hidráulica	13,2%
■ Ciclo combinado	10,2%	■ Solar fotovoltaica	2,9%
■ Cogeneración	11,2%	■ Solar térmica	1,7%
■ Residuos no renovables	0,9%	■ Otras renovables	1,4%
■ Turbinación bombeo <sup>[1]</sup>	0,8%	■ Residuos renovables	0,3%
		■ Saldo importador de intercambios internacionales	4,3%

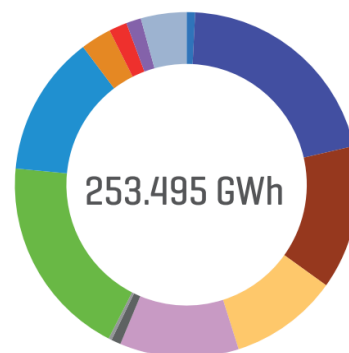
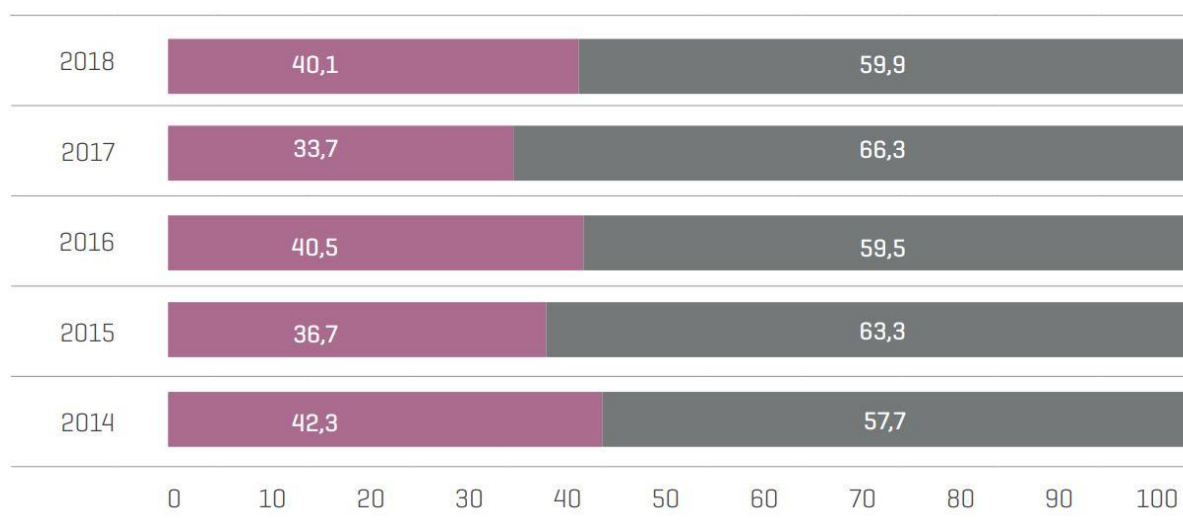
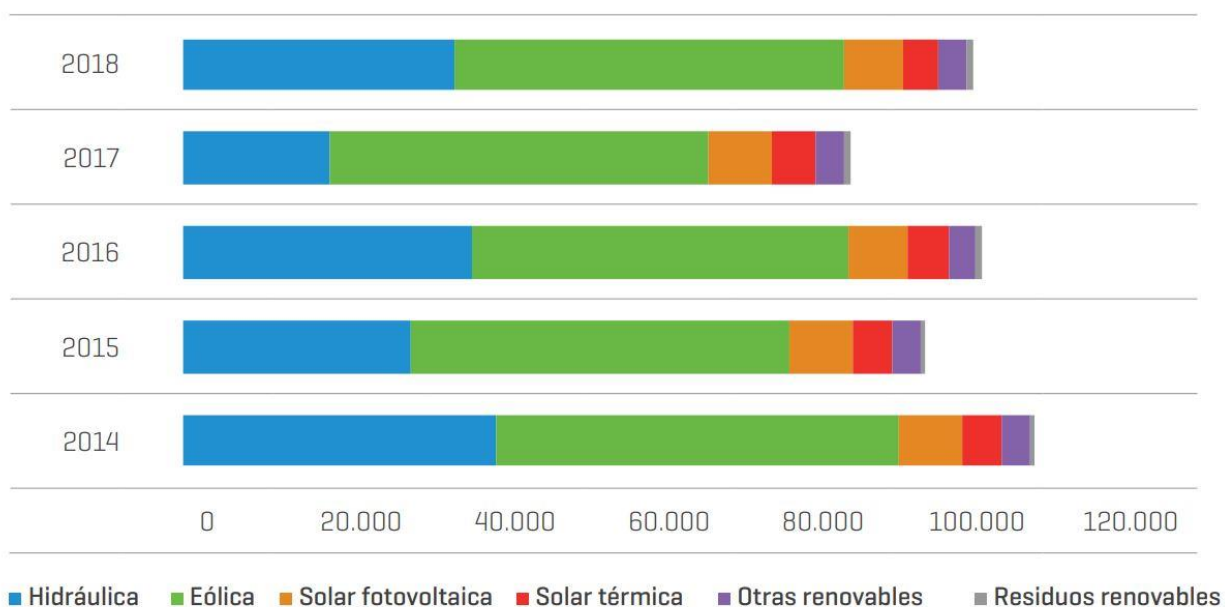


Tabla 4. Evolución de la generación eléctrica renovable y no renovable. [%] (ree.es)



■ Renovables: hidráulica, eólica, solar fotovoltaica, solar térmica, otras renovables y residuos renovables.  
 ■ No renovables: turbinación bombeo, nuclear, carbón, fuel/gas, ciclo combinado, cogeneración y residuos no renovables.

Tabla 5. Evolución de la generación eléctrica peninsular renovable [GWh]. (ree.es)



### 1.3.2 Estado medioambiental Barcelona

La contaminación en las grandes ciudades es un hecho, actualmente se achaca gran parte de esta contaminación al transporte terrestre. Desde hace unos años los episodios graves de contaminación en las grandes ciudades se han incrementado. En la última década el control sobre estos episodios ha aumentado, teniendo un mayor impacto en el tráfico rodado e implementando nuevas normativas para restringir el acceso a ciertos vehículos a los núcleos urbanos.

En Barcelona en particular, desde hace 1 año y medio los vehículos más contaminantes no pueden entrar a la ciudad en episodios de alta contaminación, limitando así el acceso y consiguiendo, en teoría, una reducción de las emisiones en momentos concretos para liberar a la ciudad de dichos episodios. A partir de enero de 2020, durante la semana y en horario laboral (de 7 de la mañana a 8 de la tarde) no podrán acceder a la capital catalana ciertos vehículos que son considerados altamente contaminantes. Con estas medidas se prevé reducir las emisiones de los vehículos más perjudiciales.



*Ilustración 9. Barcelona en un episodio de contaminación. (elperiodico.com)*

La afectación de toda el área metropolitana a causa de las emisiones de vehículos no se produce únicamente en el centro de la ciudad, pero podríamos considerarlo como un

tratamiento paliativo a los grandes problemas de contaminación a los que se enfrenta la ciudad. En el año 2018 murieron en Barcelona y su área metropolitana 350 a causa de la contaminación.

El problema de contaminación de la ciudad de Barcelona no está causado únicamente por los vehículos o el tráfico rodado, su industria, el aeropuerto y el puerto, cómo se detallará a continuación, son grandes contribuidores. La lucha contra el cambio en Barcelona se está centrando en la reducción de emisiones de vehículos en el centro de la ciudad, dejando de lado otros causantes.

Los niveles de contaminación recogidos en Barcelona superan desde hace 20 años los recomendados por la OMS (Organización Mundial de la Salud), desde el propio ayuntamiento de Barcelona se insta a implantar ciertas medidas a nivel estatal y local para tratar de luchar contra la contaminación:

- Impuesto especial sobre los carburantes.
- Impuesto bonificado para vehículos limpios.
- Identificación medioambiental obligatorio a los vehículos.
- Mayor inversión en transporte público.
- Tasas de puertos y aeropuertos, diferenciadas en función del nivel de contaminación.

Todas estas medidas son recomendaciones de aplicación estatal para intentar reducir las emisiones del tráfico rodado, y sobre todo el de particulares.





# Capítulo 2: Impacto ambiental en puertos

El transporte marítimo moviliza prácticamente el 85% del comercio mundial, toda esa mercancía se gestiona a través de puertos, desde los más grandes del mundo hasta puertos más modestos como el de Barcelona.

## 2.1 Impacto ambiental

El éxito del comercio marítimo depende del desarrollo de puertos y bahías, de tal modo es primordial el correcto diseño, construcción y mantenimiento de dichas infraestructuras. La construcción de puertos afecta directa e indirectamente a los ecosistemas en los que se emplace. Las operaciones de dragado, eliminación de ciertos materiales, construcción de infraestructuras nuevas en el medio para el establecimiento de emplazamientos portuarios. Todo ello puede provocar efectos físicos, químicos y biológicos sobre el medio.

### 2.1.1 Contaminación de puertos

Durante su vida operacional los puertos pueden ser contaminados por distintos factores, todos ellos con afectación directa al medio y posibles elementos causantes de problemas ambientales futuros:

- Derrames por cargas y descargas del petróleo y sus derivados
- Derrames de quimiqueros

- Derrames o contaminación por pérdidas de carga de graneleros
- Destrucción del hábitat de cierta flora y fauna
- Cambios en la composición química del agua
- Erosión del fondo

Las instalaciones portuarias pueden ser contaminadas por medio de los buques que operan en ellas, progresivamente hasta generar niveles altos de contaminación en sus instalaciones o accidentalmente. La contaminación en puertos podríamos clasificarla según sus **fuentes**:

- Transporte marítimo
- Transporte terrestre (camiones y vagones)
- Ductos
- Almacenamiento en tierra

Por sus **causas**:

- Operativas
  - Carga/descarga
  - Bunkering
  - Otras operaciones (trasiegos)
- Accidentales
  - Colisiones
  - Varaduras
  - Fallos estructurales
  - Incendio y explosión
  - Roturas o fisuras de ductor
  - Colapso o daño de tanques
  - Daños o pérdidas de contenedores

## 2.1.2 Emisiones motores marinos

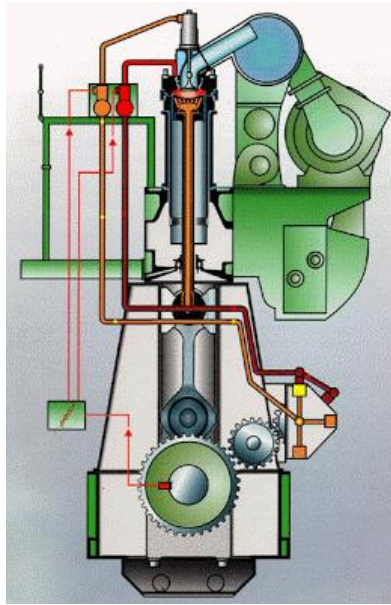
El propio transporte marítimo tiene un gran impacto en la contaminación de los puertos, las emisiones expulsadas a la atmósfera por los buques afectan directamente a la contaminación portuaria y la de la propia ciudad o emplazamiento en el que se encuentre.

A continuación, se detalla el funcionamiento de los motores marinos utilizados actualmente para entender que emisiones emiten a la atmósfera y cómo funcionan.

### *2.1.2.1 Motores con control electrónico*

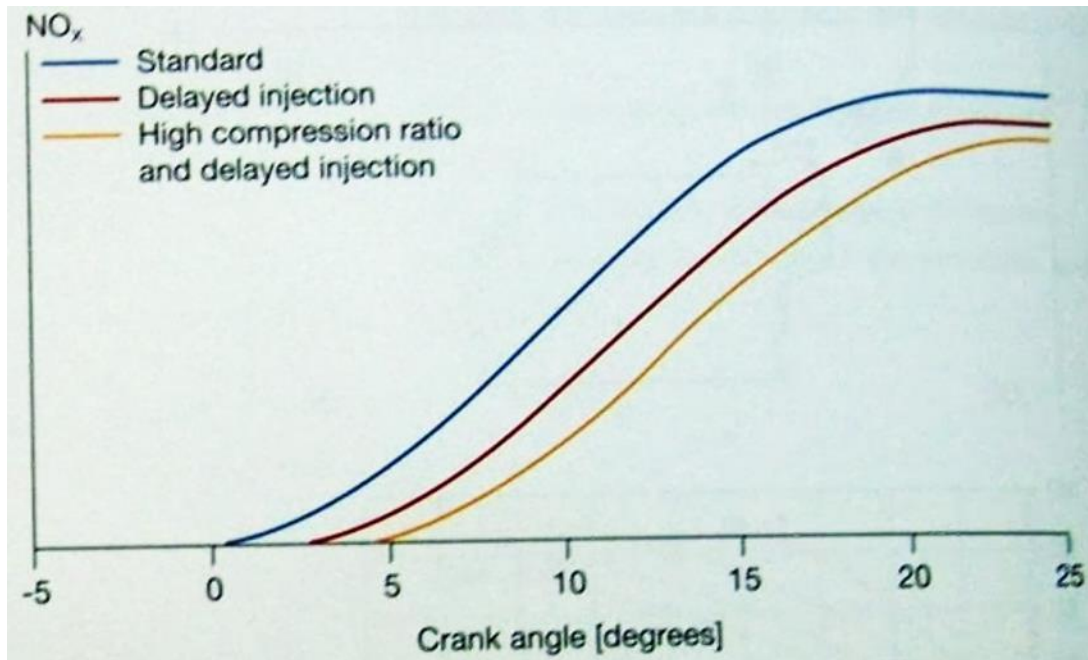
Los motores controlados electrónicamente, denominados motores inteligentes, se introdujeron al mercado en a partir del año 2002 de la mano de Man y Sulzer, esta última actualmente forma parte del grupo Wärtsilä, ambos fabricantes demostraron en ese momento que el funcionamiento de un motor de 2 tiempos sin árbol de levas era posible, para lograrlo aplicaron un control electrónico en la inyección de combustible y en los sistemas que actuaban en la válvula de escape.

En la siguiente figura se puede ver el primer motor de control electrónico de Sulzer, el RT-Flex. Si hacemos pulsamos encima veremos una animación del mismo.



*Ilustración 10. Sulzer RT-Flex (Wärtsilä.com)*

La evolución de estos motores con el paso de los años ha desembocado en la capacidad de los mismos de monitorizar sus condiciones de funcionamiento y auto ajustar los parámetros de trabajo para obtener un rendimiento óptimo en cualquier régimen de funcionamiento, de esta manera se consiguen reducir las emisiones contaminantes, en la figura 11 pueden apreciarse las emisiones de  $\text{NO}_x$  en los distintos tipos de motores de dos tiempos (Los "Standard", anteriores a 2002, "Delayed injection", desde 2002 hasta la actualidad aunque prácticamente no se fabrican y han evolucionado en los "High compression ratio" .



*Ilustración 11. Comparativa emisiones NOx según tipo de motor. (Tecnología-maritima.com)*

En los motores actuales el sistema recoge los datos de funcionamiento constantemente y los compara con los valores definidos de fábrica, en el momento que el sistema detecta desviaciones o algún tipo de funcionamiento anormal, el sistema adopta de manera automática medidas correctoras para que los valores vuelvan a su estado óptimo.

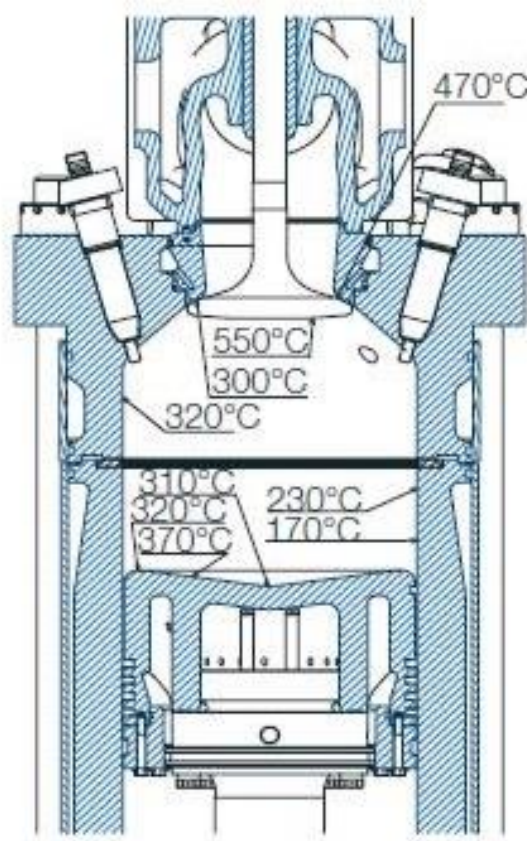
Las medidas tomadas por el sistema, pueden ser modificaciones en los tiempos de inyección de combustible y los sistemas de actuación de válvulas de escape con el motor en marcha, ya que estos motores no tienen árbol de levas las posibles problemáticas mecánicas y de fiabilidad por la descoordinación de los tiempos se reducen. Al ser capaces de monitorizar su funcionamiento, pueden ajustar los parámetros para conseguir optimizar su funcionamiento normal. Otra de las ventajas que se obtienen con este tipo de motores, es que al ser electrónicos a lo largo de su vida útil pueden ser actualizados por un nuevo software y de esta manera mejorar el funcionamiento del motor y siempre tener un motor nuevo dentro de las especificaciones no mecánicas.

Para que el sistema satisfaga también las necesidades de fiabilidad del motor, se hace necesario monitorizar de forma activa los esfuerzos que se dan en toda la estructura del motor, ya sean debidos a falta de mantenimiento, mal ajuste o sobrecargas. La monitorización de estos factores permite conocer datos del estado de funcionamiento en tiempo real, toda la información es analizada por el sistema que es capaz de evaluar el estado general del motor.

De esta forma podremos conocer posibles fallos o daños que pueda sufrir el motor con suficiente antelación como para que sean reparados a tiempo o incluso evitar que ocurran. El sistema sería capaz de presentar un informe con el estado del motor, valores como:

- Presión de compresión, podría determinar que una válvula de escape se encuentra dañada o una rotura en los aros del pistón.
- Temperatura de la pared del cilindro, con el fin de comprobar el estado de los aros del pistón
- Presión de combustión, se utiliza para poder controlar los tiempos de la inyección y control de cargas mecánicas
- La presión media en el cilindro, con ella conoceremos la distribución de cargas en el interior del cilindro, de la misma manera que la potencia del motor.

En la figura 12 podemos apreciar las distintas temperaturas en la cámara de combustión y pistón de un motor MAN B&W 6S40ME-B9.



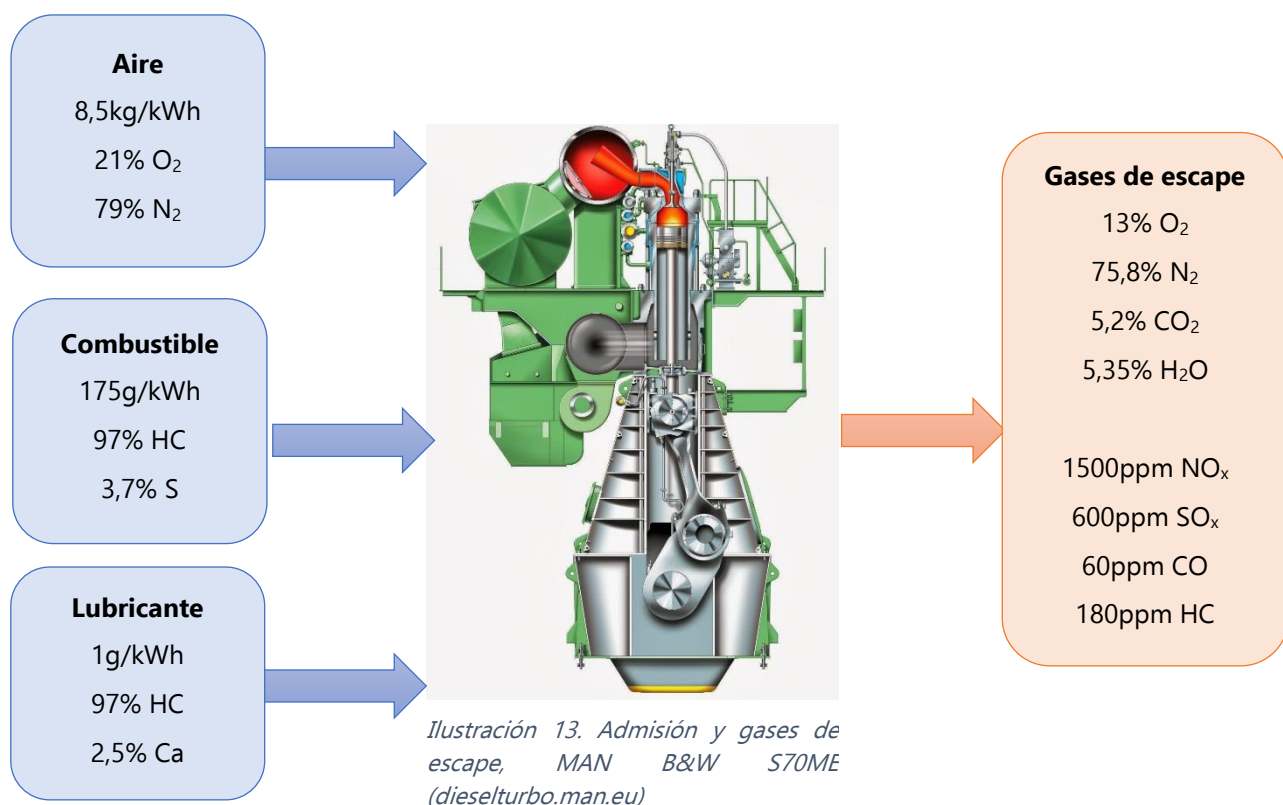
*Ilustración 12. Temperaturas cámara de combustión y pistón. (dieselturbo.man.eu)*

El sistema de monitorización del motor tiene como objetivo detectar posibles fallos en el motor y actuar en consecuencia. De tal modo que el mismo sistema puede, en función de las diversas anomalías, adaptar los modos de funcionamiento. Estos modos son por ejemplo:

- Modo de protección del motor
- Modo de ahorro de energía
- Modo de control de emisiones

Usados para distintos modos de navegación o sobrecargas y fallos del motor.

A continuación, se detalla el funcionamiento de un motor marino de dos tiempos referido a los gases de escape comparado con los elementos introducidos para la combustión mediante la admisión.





### 2.1.2.2 Emisiones de óxidos de nitrógeno

La nueva regulación de la Organización Marítima Internacional (IMO por sus siglas en inglés) IMO Tier III, en vigor desde el 1 de Enero de este mismo año 2016, pretende reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> en un 80% en comparación con la IMO Tier I (para motores fabricados a posteriori del año 2000, para ello los fabricantes deben seguir mejorando el rendimiento de sus motores y reducir la temperatura dentro de la cámara de combustión, para de esta manera conseguir reducir la cantidad de NO<sub>x</sub> emitido a la atmósfera. En la figura 14 puede apreciarse la comparativa entre las tres normativas de la IMO con este objetivo en diversos periodos desde que entrase en vigor IMO Tier I en 1997. Admisión y gases de escape, MAN B&W S70ME ([dieselturbo.man.eu](http://dieselturbo.man.eu))

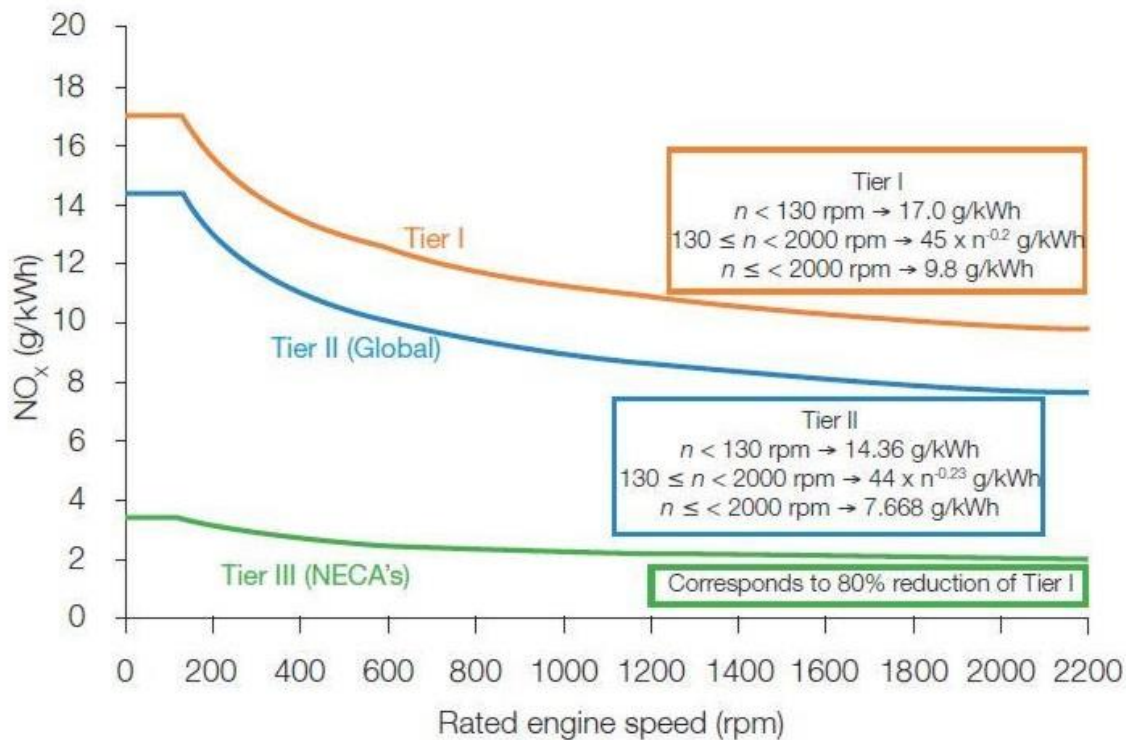


Ilustración 14. Límite de emisiones de NO<sub>x</sub> por la IMO.

## 2.2 Estado medioambiental del puerto de Barcelona

Actualmente el puerto de Barcelona es uno de los que recibe mayor contaminación de todo Europa. Esto es debido a que su infraestructura eléctrica no está capacitada para poder conectar los buques a tierra y por tanto los buques que operan en el puerto deben generar electricidad con sus motores auxiliares. Se está trabajando para poder controlar las emisiones en el puerto y con ello poder reducir los niveles de contaminación actual.

### 2.2.1 Afectación de los cruceros

Un estudio de *Transport and Environment* (T&E), con sede en Bruselas recoge ha analizado 50 ciudades europeas para determinar cómo de contaminantes son los cruceros en cada una de ellas. Dando referencias tan preocupantes como que los niveles de contaminación de estos cruceros en algunas ciudades son 10 veces mayores que todo el parque móvil junto.

En Barcelona pasaron por el puerto solo en 2017, 105 cruceros de los cuales se vertieron a la atmósfera 32,8 toneladas de azufre (S), prácticamente 5 veces más SO<sub>x</sub> que todo el parque móvil de la ciudad. Emitiendo 700 toneladas de NO<sub>x</sub> (28% del parque móvil) y 13 toneladas de partículas en suspensión (3,5%). En el siguiente gráfico se aprecian las emisiones de cada uno de los puertos estudiados:

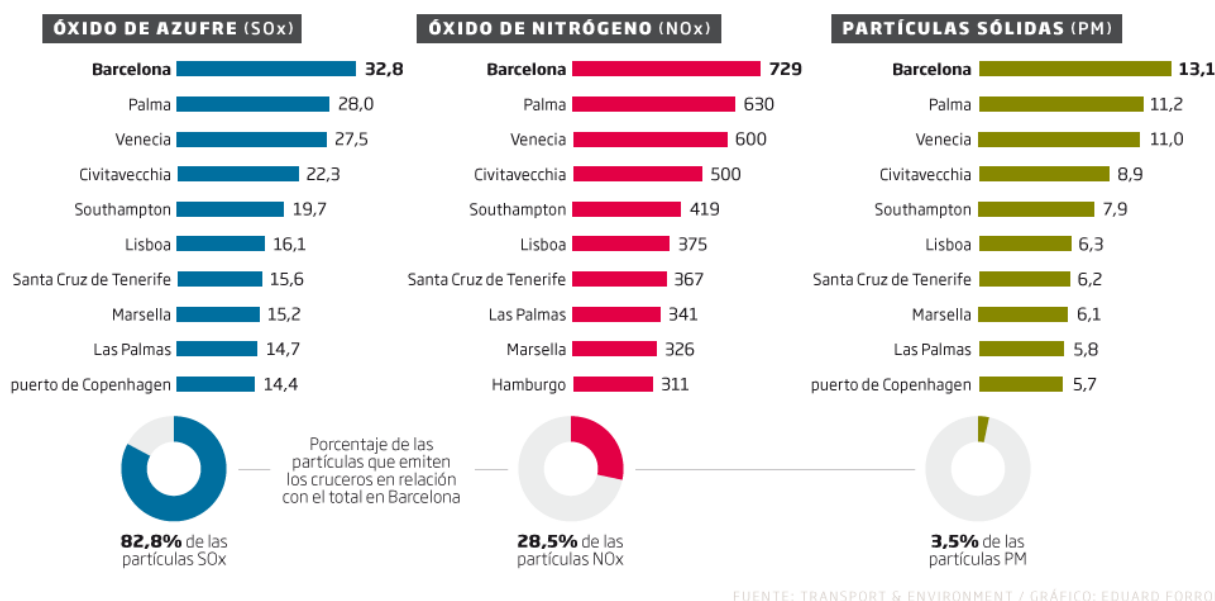


Ilustración 15. Emisiones de partículas contaminantes en cruceros. (ara.cat)

La contaminación del puerto por los cruceros es debido al elevado número de turistas que visitan cada año la ciudad de Barcelona. En la siguiente imagen se observa la comparativa entre las emisiones de SOx causadas por los cruceros y las que son aportadas por el parque móvil de las ciudades.

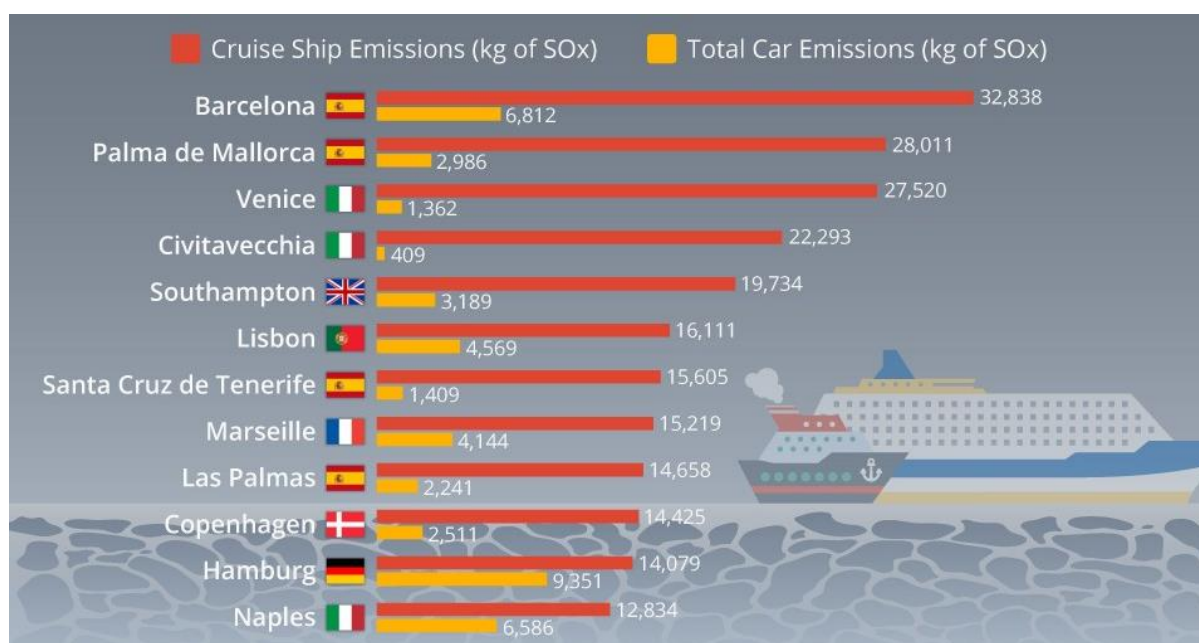


Ilustración 16. Comparativa de emisiones de SOx entre los cruceros y el parque móvil. (Cortesía de AEInnova)

Barcelona es la gran perjudicada en cuanto a emisiones de cruceros se refiere, un gran número de estos buques visitan la ciudad año tras año.

El 43% de los cruceros a nivel mundial cuentan con sistemas de limpieza de los gases de escape, reduciendo de este modo las emisiones liberadas a la atmósfera. Del mismo modo la IMO obliga a reducir las emisiones de carbono en un 40% en 2030.

Uno de los principales problemas de los cruceros en el puerto de Barcelona (y otros pequeños puertos) es que la infraestructura del puerto no está lista para poder albergar y satisfacer las necesidades energéticas que requieren este tipo de buques. De tal manera que deben permanecer amarrados a puerto sin poder conectarse a la red eléctrica, produciendo electricidad para su consumo mediante los motores auxiliares o motores principales. Todo ello consigue un aumento muy elevado de las emisiones contaminantes de estos buques. En caso de poder conectarse a la red eléctrica, los niveles de contaminación en la ciudad de Barcelona y su puerto descenderían considerablemente. Para poder descarbonizar completamente nuestros puertos sería necesario implantar un mayor número de generadores de energía renovable.

### 2.2.2 Plan de mejora de la calidad del aire

El puerto de Barcelona, gracias al cumplimiento de EMAS y la ISO 14001, realiza anualmente un plan para mejorar varios aspectos en el ámbito medioambiental. Uno de ellos es el plan de mejora de la calidad del aire mediante diversas acciones encaminadas a la reducción de emisiones de gases contaminantes y partículas en suspensión.

- El plan del puerto se divide en 9 áreas de trabajo:
- Emisiones de buques
- Emisiones de tráfico rodado
- Emisiones de maquinaria de la terminal
- Potenciación del transporte ferroviario y del *short sea shipping*
- Emisiones de la manipulación de graneles sólidos

- Nuevos accesos viarios y ferroviarios
- Emisiones de obras portuarias
- Movilidad sostenible del conjunto de empresas del puerto
- Adecuación y actualización de las redes de vigilancia de la calidad del aire

### 2.2.3 Estrategia climática

Las emisiones de gases de efecto invernadero juegan un papel muy importante en el cambio climático, estas emisiones, cómo se ha comentado anteriormente, afectan a nivel global.

Adoptar estrategias para reducir las emisiones es una necesidad para los puertos, que representan nodos de la cadena logística y contribuyen en gran medida a estas emisiones y su huella de carbono.

Desde 2017, el puerto compra toda su energía eléctrica a una empresa suministradora que le proporciona el 100% de su consumo con generación de energías renovables. El puerto lleva a cabo varias propuestas para reducir su impacto en el cambio climático.

- Proyecto BCN Zero Carbon
- World Ports climate Action Plan (WPCAP)
- Transición energética
- Ecocalculadora
- Short Sea Shipping promotion



## Capítulo 3: Las energías renovables

Las energías renovables son fuentes de energía limpia e inagotables. Se diferencian de otras energías no renovables, como los combustibles fósiles, por su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento, y principalmente por sus características ambientales, ya que no emiten gases nocivos para la atmósfera. Económicamente hablando los costes de las energías renovables se reducen año a año a medida que su tecnología avanza y se optimizan sus procesos de montaje y diseños.

El desarrollo de las energías renovables es imprescindible para combatir el cambio climático y sus consecuencias, la obtención de energía limpia para el abastecimiento eléctrico mundial es un camino que debemos seguir con el fin de mitigar los efectos de la contaminación. En la cumbre mundial del clima de París en 2015 se llegó a un acuerdo en el que 200 países firmantes se comprometieron a reducir sus emisiones, para ello será necesaria la transición hacia un sistema energético basado en las energías renovables.

La demanda energética continua aumentando a nivel mundial y para poder satisfacerla debemos contar con un gran número de instalaciones que a su vez sustituyan a las energías que dependen de combustibles fósiles. Las principales ventajas de las energías renovables son:

**Energías limpias;** no emiten gases de efecto invernadero, son la opción más limpia para proteger el medio ambiente.

**Fuentes inagotables;** al contrario que otras fuentes de energía como el carbón, gas, petróleo o la energía nuclear, las energías renovables se abastecen de los ciclos naturales.

**Reducen la dependencia energética;** las energías renovables se abastecen del medio en el que son instaladas y por tanto no es necesario importar las fuentes energéticas.

**No generan residuos;** de difícil tratamiento y con ciclos de biodegradación altos.

**Crecientemente competitivas;** la reducción de sus costes en los últimos años está haciendo que sean más accesibles y por tanto su instalación es admisible en más puntos de suministro.

**Potencian el autoconsumo;** gracias a la economía de escala, las energías renovables son escalables e instalables en hogares para el autoabastecimiento eléctrico.

## 3.1 Tipos de energías renovables

Existen distintos tipos de energías renovables, para poder obtener energía eléctrica de la naturaleza, debemos transformar la energía potencial que reside en las fuentes inagotables de la naturaleza. Para ello se utilizan procesos mecánicos, físicos o químicos.

### 3.1.1 Biomasa

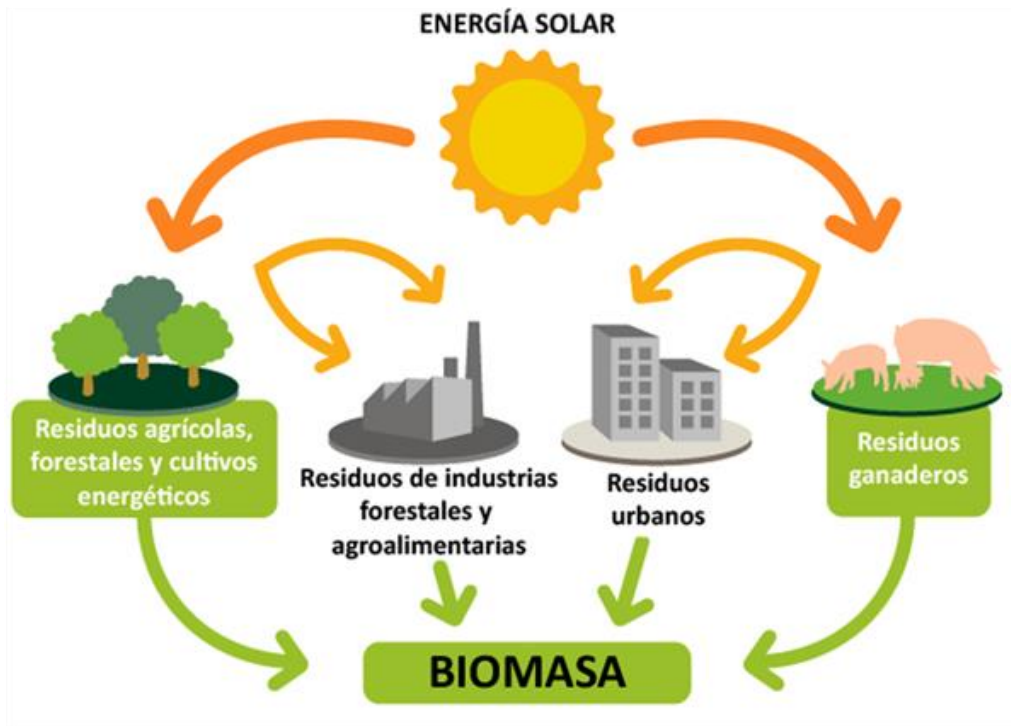
La biomasa es una materia orgánica utilizada como energía alternativa que aprovecha los residuos generados por el ser humano y de la naturaleza para, mediante la combustión, generar energía eléctrica. No es una energía renovable 100% limpia ya que, finalmente, sigue emitiendo emisiones procedentes de la combustión a la atmósfera.

Otras formas de aprovechamiento de la biomasa es la utilización directa en calderas para calefacción o la fabricación de biogás y biodiesel para la obtención de energía directamente de la combustión del mismo. Las principales ventajas de la biomasa son:

- Fuente de energía de origen renovable
- Convierte residuos en recursos



- Limpieza forestal
- Precio económico



*Ilustración 17. Gráfico del ciclo de la biomasa. (comofunciona.com)*

### 3.1.1.1 Biogás

El biogás es una energía alternativa producida biodegradando materia orgánica, generando un gas combustible que puede usarse en calderas para calefacción o para la producción de energía eléctrica. Se podría considerar un derivado de la biomasa, ya que se obtiene principalmente de la misma materia prima que se utiliza como combustible para la biomasa.

### 3.1.2 Energía marítima

La energía marítima aprovecha la energía potencial proveniente de nuestros mares y océanos para generar energía eléctrica. Podríamos separarlas en 2 grupos dependiendo

de su forma de obtención de energía, si aprovechan la energía de las olas, undimotriz, si la aprovecha de las mareas, mareomotriz.

### *3.1.2.1 Energía undimotriz*

La energía unimotriz, también llamada olamotriz, es la energía capaz de generar energía eléctrica por el movimiento de las olas. Es una tecnología desarrollada desde la década de los 80. Para el funcionamiento óptimo de la tecnología se requieren profundidades de entre 40 y 100 metros. La cantidad de energía que se puede obtener de ella es proporcional al periodo de oscilación de las olas. Los tipos de la energía undimotriz se clasifican según su cercanía a la costa:

- Onshore
- Nearshore
- Offshore



*Ilustración 18. Energía undimotriz mediante elemento flotante. (muyinteresante.com)*

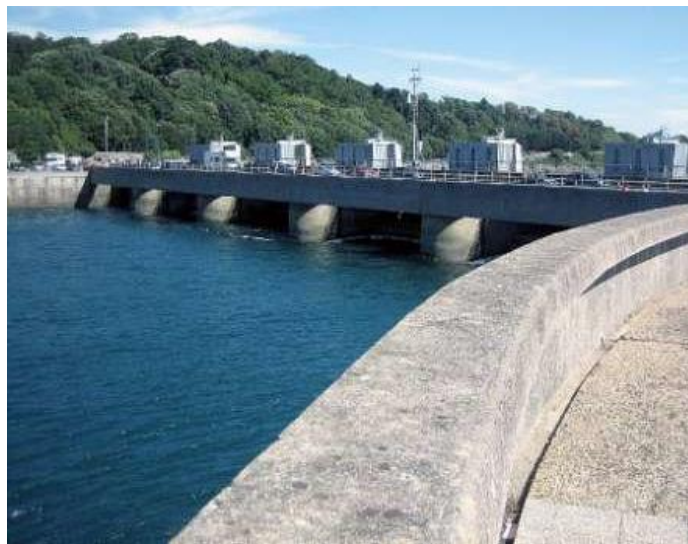
### 3.1.2.2 Energía mareomotriz

La energía mareomotriz se obtiene mediante el aprovechamiento de las mareas, para la generación de energía eléctrica se utilizan diferentes métodos:

**Presas de marea:** Las presas de marea utilizan la energía potencial por la diferencia de altura entre las mareas alta y baja. Para ello se utilizan como presas los diques en todo el ancho de un estuario, los costes son muy elevados y afectan al medio en el que se instalan.

**Generador de la corriente de marea:** Los generadores de corriente de marea o TSG utilizan la energía cinética del movimiento del agua a su paso por las turbinas para generar energía eléctrica, el concepto es similar al de la energía eólica, el coste de instalación es mucho más bajo que las presas de marea.

**Energía mareomotriz dinámica:** La energía mareomotriz dinámica todavía es un concepto de energía mareomotriz que combina la energía cinética y la energía potencial de las mareas, construyendo un dique, sin llegar a encerrar un área. Se introduce agua con diferencias de fase de marea, se utilizaría sobre todo para el aprovechamiento de aguas poco profundas.



*Ilustración 19. Planta mareomotriz de La Rance, Francia. (researchgate.net)*

El funcionamiento de una planta mareomotriz, asociable a las presas de marea, es sencillo; cuando sube la marea se abren las compuertas del dique, el agua ingresa en el embalse hasta alcanzar su nivel máximo y se cierran las compuertas. Cuando la marea desciende por debajo del nivel de la presa, se abren las compuertas dejando pasar el agua por las turbinas ayudadas por toberas para potenciar su rendimiento.

### 3.1.3 Energía geotérmica

La energía geotérmica es una energía renovable y limpia que es capaz de aprovechar el calor del subsuelo para climatizar, a modo de calefacción o para la obtención de agua caliente. En una central geotérmica se aprovecha este calor del subsuelo para poder generar energía eléctrica. La energía geotérmica no depende del clima, la radiación solar ni del viento. El almacenaje de calor bajo la superficie terrestre y su gradiente térmico respecto a la superficie son suficientes para poder generar energía eléctrica.

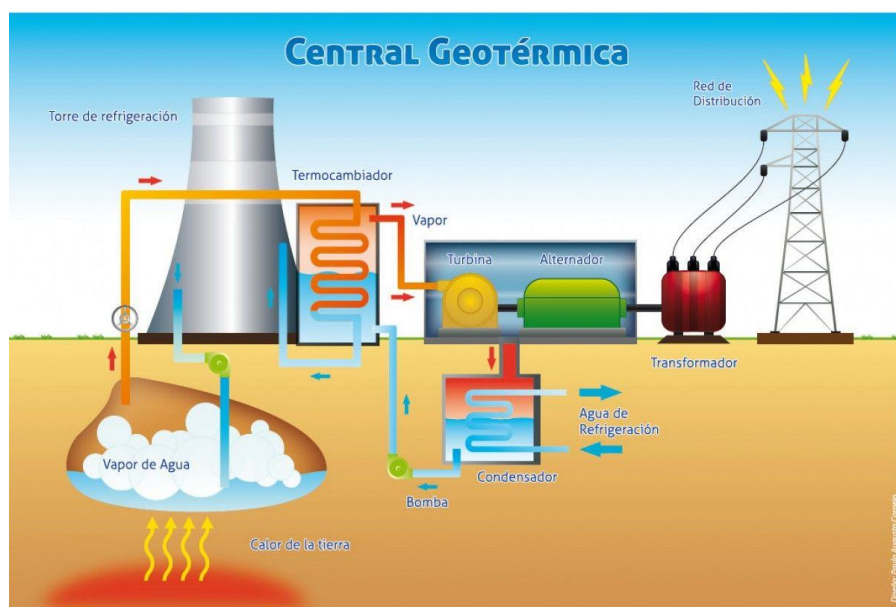


Ilustración 20. Gráfico de funcionamiento de la energía geotérmica. (educaplay.com)

Existen dos tipos de energías geotérmicas, en función de la temperatura del subsuelo:

Energía geotérmica de **baja o muy baja temperatura** con temperaturas que van desde los 17°C hasta los 90°C y que se utiliza directamente para la obtención de agua caliente o para aclimatación a modo de calefacción, sin posibilidad de utilizarla para la obtención de energía eléctrica.

La energía geotérmica de **media y alta temperatura**, con temperaturas que oscilan entre los 90°C y los 150°C, se utiliza en su mayor parte para la obtención de energía eléctrica mediante el uso de ciclos combinados y turbinas.

Islandia es un país en el que el 85% de su energía proviene de energías renovables y más concretamente de la energía geotérmica. Con una gran actividad volcánica es muy propicio a ello, de hecho, una de las plantas de energía geotérmica más grandes del mundo se encuentra en sus fronteras, con capacidad para generar 303MW de energía eléctrica y otros 400MW de energía térmica.

### 3.1.4 Energía solar

La energía solar es la energía capaz de aprovechar la energía proveniente del sol para el consumo, obteniendo energía eléctrica o térmica. La energía contenida en el sol es tan abundante que se puede considerar inagotable y abundante, por tanto, la energía solar es una energía renovable y limpia. La energía solar es la energía contenida en la radiación del sol, para conseguir aprovechar esta radiación se utilizan paneles solares, que pueden ser de distintos tipos en función de cómo aprovechen la energía:

- Captadores solares térmicos
- Módulos fotovoltaicos
- Sin elementos externos

Dependiendo de la forma en la que se aprovecha la radiación solar, se puede dividir en 3 tipos:

- Energía solar térmica



- Energía solar fotovoltaica
- Energía solar pasiva

La **energía solar térmica** aprovecha la radiación solar para calentar agua o un fluido especial mediante colectores solares que, concentrando la energía en puntos concretos aumentan la temperatura del fluido, con ello se puede utilizar directamente el agua calentada directa o indirectamente para uso sanitario o calefacción. La energía solar térmica también produce energía eléctrica, calentando el fluido hasta altas temperaturas para generar vapor y con ello el movimiento de una turbina.



*Ilustración 21. Central termosolar más grande del mundo, Ivanpah, desierto de mojave. (tecpa.es)*

La **energía solar fotovoltaica** aprovecha la radiación solar mediante paneles fotovoltaicos que son capaces de absorber dicha radiación y transformarla en energía eléctrica, corriente continua que puede ser almacenada o debe ser transformada a corriente alterna para su correcto aprovechamiento directo en la red eléctrica.



*Ilustración 22. Paneles solares fotovoltaicos. (solar-energia.net)*

La energía solar **pasiva** es el método de aprovechamiento de la radiación solar más antiguo, se basa en aprovechar la radiación solar sin ningún dispositivo externo, y se consigue con ubicaciones u orientaciones concretas de edificios en las que se aprovecha la luz solar para iluminación y para aprovechamiento térmico. Otra manera de energía solar pasiva sería el secado de ciertas cosechas al aire libre, utilizando el sol como fuente de energía.

### 3.1.5 Energía eólica

La energía eólica se ha convertido en una fuente de generación de electricidad clave para el cambio del modelo energético, más limpio y sostenible. La mejora de la tecnología permite que algunos campos eólicos produzcan energía eléctrica tan barata como lo hace el carbón o las centrales atómicas. La energía eólica es una de las energías renovables más utilizadas en el mundo.

La energía eólica es la energía que aprovecha la energía cinética del viento y las corrientes de aire para la generación de energía eléctrica, gracias a un generador conseguimos convertir la energía cinética en energía eléctrica.

Actualmente los mayores productores de energía eólica en el mundo son: Estados Unidos, seguido de Alemania, China, India y España.

La producción de energía eléctrica mediante la energía eólica es relativamente sencilla, un molino en su correcta ubicación es capaz de generar hasta 10 MW con un diámetro de rotor de 154 metros.

### *3.1.5.1 Ventajas e inconvenientes de la energía eólica*

#### **Ventajas**

- Fuente de energía inagotable
- Poca superficie (comparado con otras renovables)
- No contamina
- Bajo coste
- Compatible con otras actividades

#### **Inconvenientes**

- Viento no garantizado
- Energía no almacenable
- Impacto ambiental (paisajístico y ecosistema cercano)

### *3.1.5.2 Tipos de viento*

Los molinos pueden instalarse en cualquier lugar, pero debe tenerse en cuenta el tipo de viento que existe en el área elegida. El viento se clasifica según su tipo con 4 grados:

- Viento clase I
- Viento clase II
- Viento clase III
- Viento clase IV



Según su velocidad y por tanto su potencia posterior se clasifican cómo se muestra en la siguiente tabla y sería equivalente a la imagen posterior

Tabla 6. Clases de viento. (LMWindpower.com)

	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
<b>Viento de referencia</b>	50 m/s	42.5 m/s	37.5 m/s	30 m/s
<b>Media anual de velocidad de viento (max)</b>	10 m/s	8.5 m/s	7.5 m/s	6 m/s

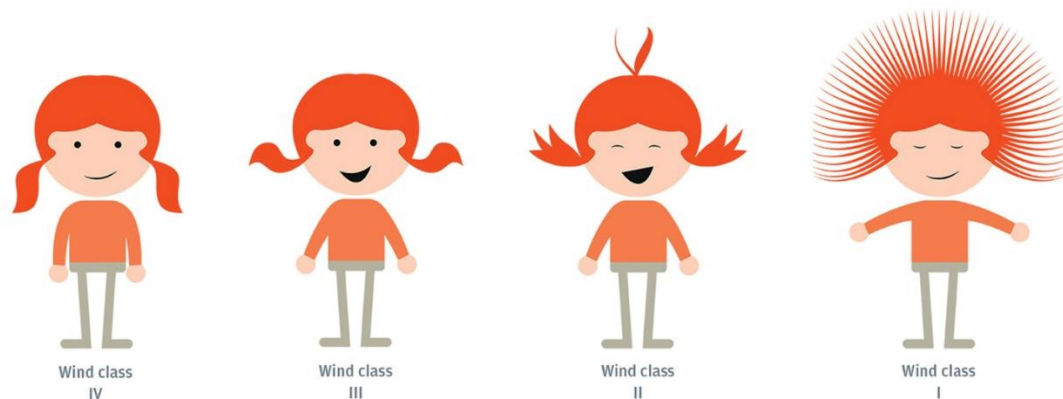


Ilustración 23. Representación gráfica de las clases de viento. (LMWindpower.com)

### 3.1.5.3 Principales fabricantes

Actualmente los principales fabricantes de molinos de viento para la obtención de energía eólica son:

- General Electric
- Siemens Gamesa
- Vestas

Todos ellos en la carrera por conseguir el molino con la mayor potencia, de tal manera que el coste de la instalación por mega Watio baja.

El coste aproximado de una instalación eólica en tierra (onshore) actualmente se sitúa entre los 0,8-1 Millones de euros por mega Watio instalado, en cambio en una instalación en el mar (offshore) se sitúa entre los 1,2-1,5 millones de euros por mega Watio instalado.

Aunque pueda parecer un coste más elevado, lo cierto es que las instalaciones en tierra suelen tener potencias eléctricas menores lo que hace que en muchas ocasiones salga rentable realizar una inversión más elevada para obtener más potencia en una superficie menor.

Actualmente la carrera por fabricar el modelo más grande, en cuanto a potencia se refiere, la encabeza General Electric con su modelo "The Haliade-X" con una potencia de 12MW. Seguido muy de cerca por Siemens con un modelo de 10MW.



*Ilustración 24. Mayor molino de viento, The Haliade-X, (ge.com)*



*Ilustración 25. Molino offshore de 10MW SG10 (siemensgamesa.com)*

## **3.2 Ejemplo práctico de un aerogenerador y su control mediante Simulink**

Cómo parte del análisis se ha realizado un estudio de los enlaces de alta tensión que recibirían la carga eléctrica de un aerogenerador con distintas longitudes de cable y potencias en cada caso. Y una simulación de un modelo de turbina de 1,5MW con un generador con dos cargas.

### **3.2.1 Estudio de enlaces de alta tensión**

#### *3.2.1.1 Corriente Continua*

HVDC\_Transmission\_Link

75km  $T=1s$

## P, Q (Entrada y Salida)

	Time	Value
1	0.729	-2.474e+05
2	0.980	-4.664e+05
$\Delta T$	251.033 ms	$\Delta Y$ 2.190e+05
1 / $\Delta T$		3.984 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		872.481 (/ms)

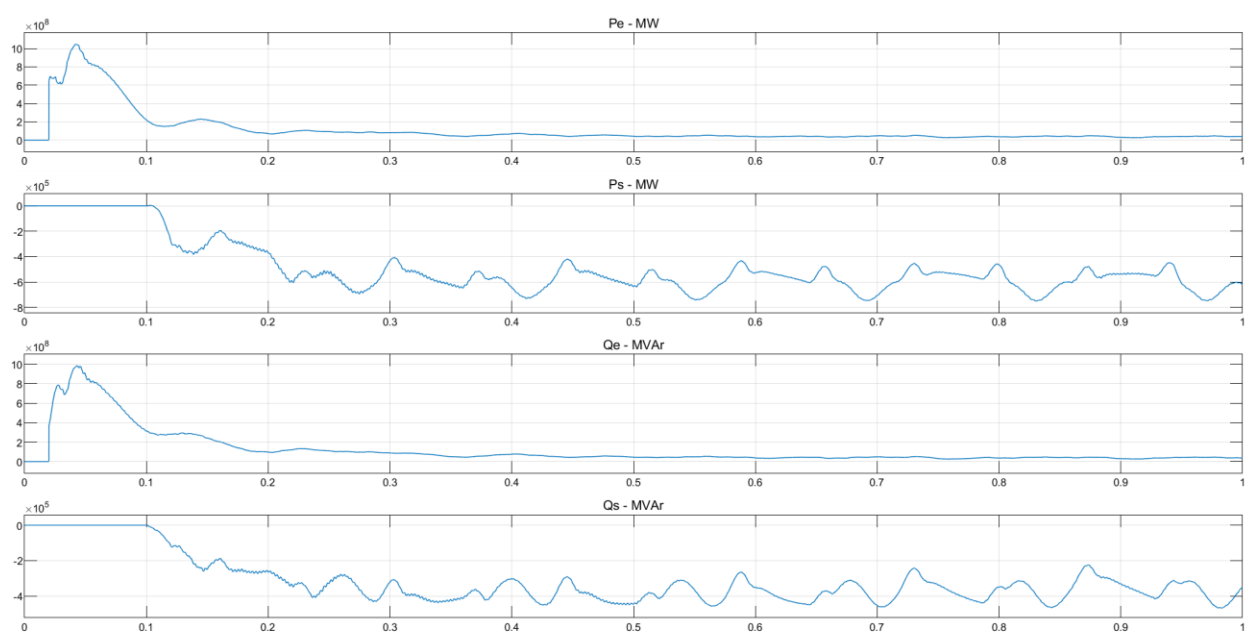
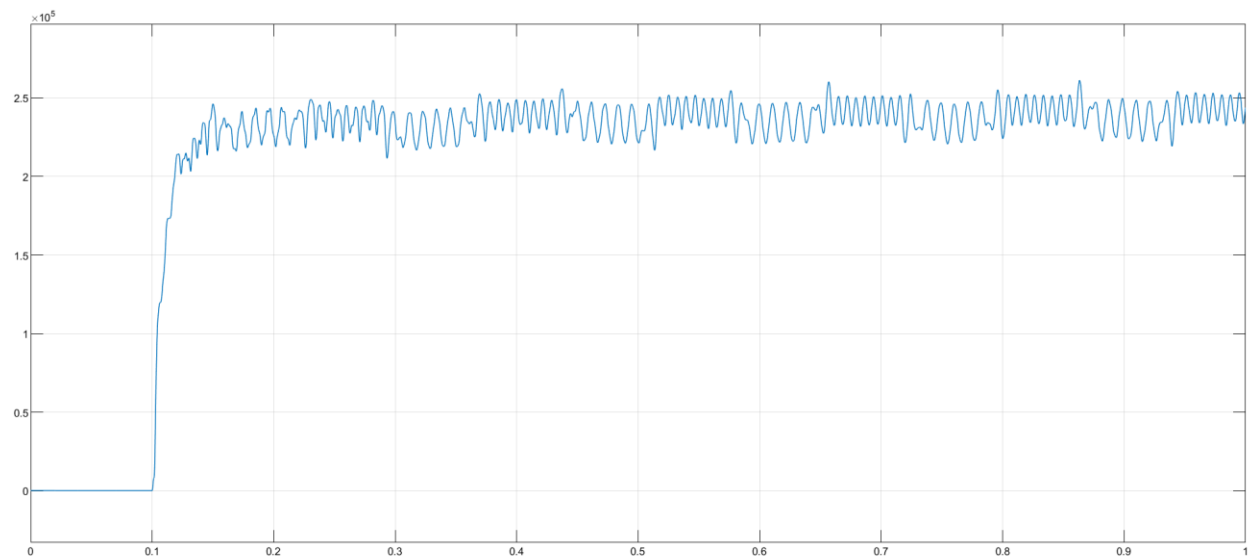


Ilustración 26. Entrada y salida, 75km, CC.

## V (Salida)

	Time	Value
1	0.880	2.276e+05
2	0.970	2.365e+05
$\Delta T$	90.155 ms	$\Delta Y$ 8.911e+03
$1 / \Delta T$		11.092 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		98.844 (/ms)



*Il·lustració 27. Salida, 75km, CC.*

200 km T=1s

## P, Q (Entrada y Salida)

	Time	Value
1	0.729	-3.078e+05
2	0.980	-3.948e+05
$\Delta T$	251.033 ms	$\Delta Y$ 8.703e+04
1 / $\Delta T$		3.984 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		346.689 (/ms)

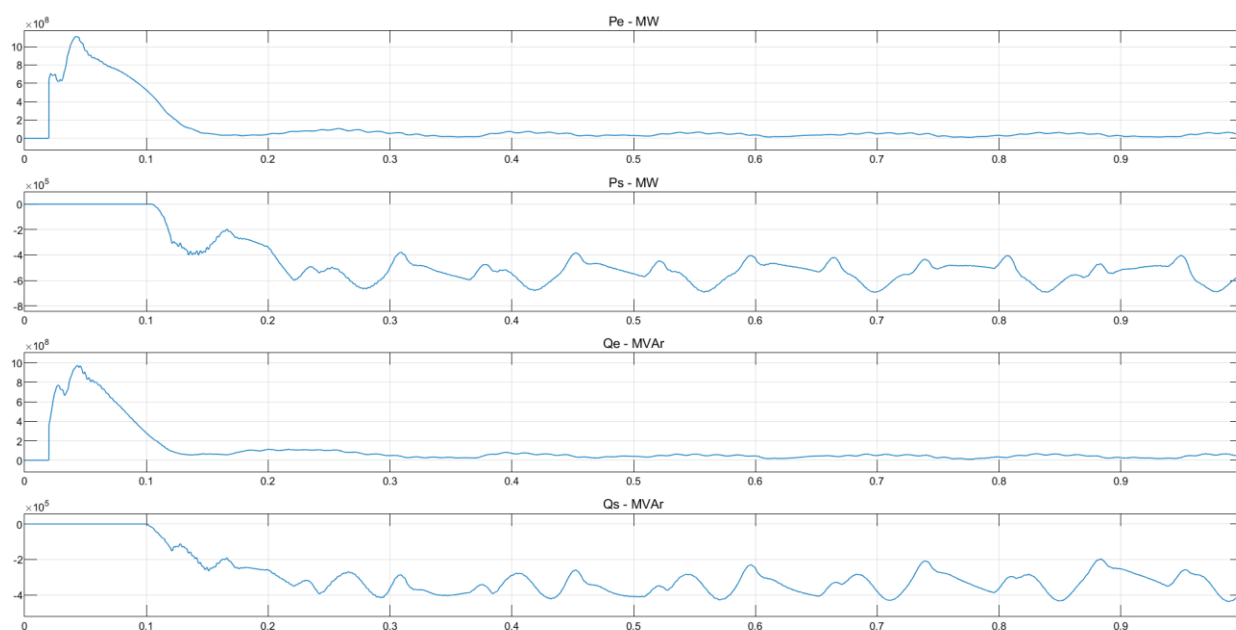
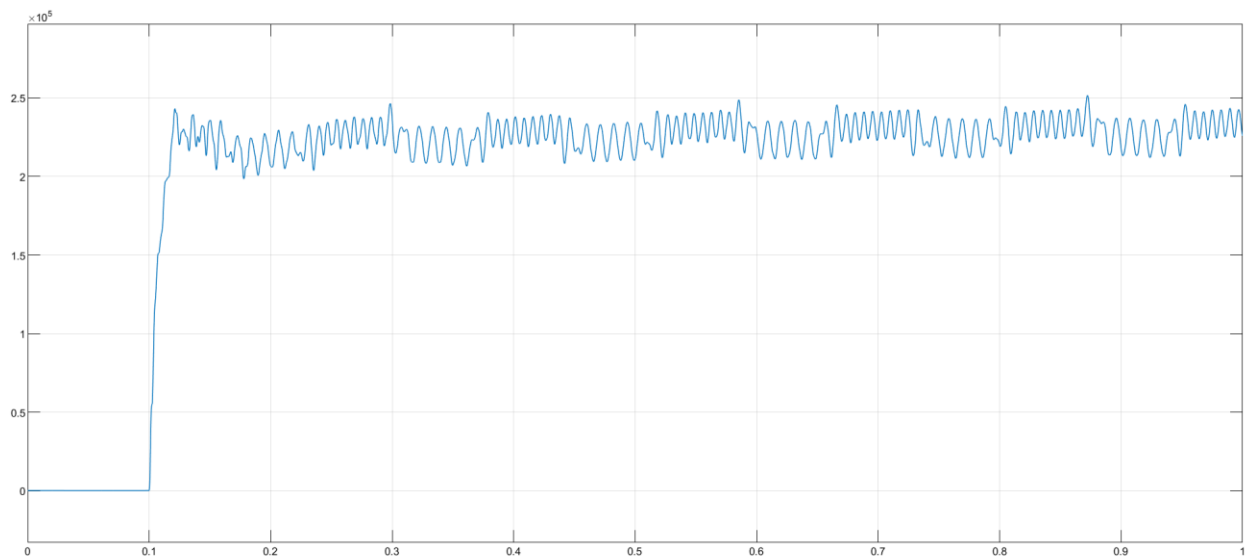


Ilustración 28. Entrada y salida, 200km, CC.

## V (Salida)

	Time	Value
1	0.880	2.367e+05
2	0.970	2.265e+05
$\Delta T$	90.155 ms	$\Delta Y$ 1.025e+04
$1 / \Delta T$		11.092 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		113.710 (/ms)



*Il·lustració 29. Salida, 200km, CC.*

400 km T=1s

## P, Q (Entrada y Salida)

	Time	Value
1	0.729	-3.562e+05
2	0.980	-4.167e+05
$\Delta T$	251.033 ms	$\Delta Y$ 6.051e+04
$1 / \Delta T$		3.984 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		241.062 (/ms)

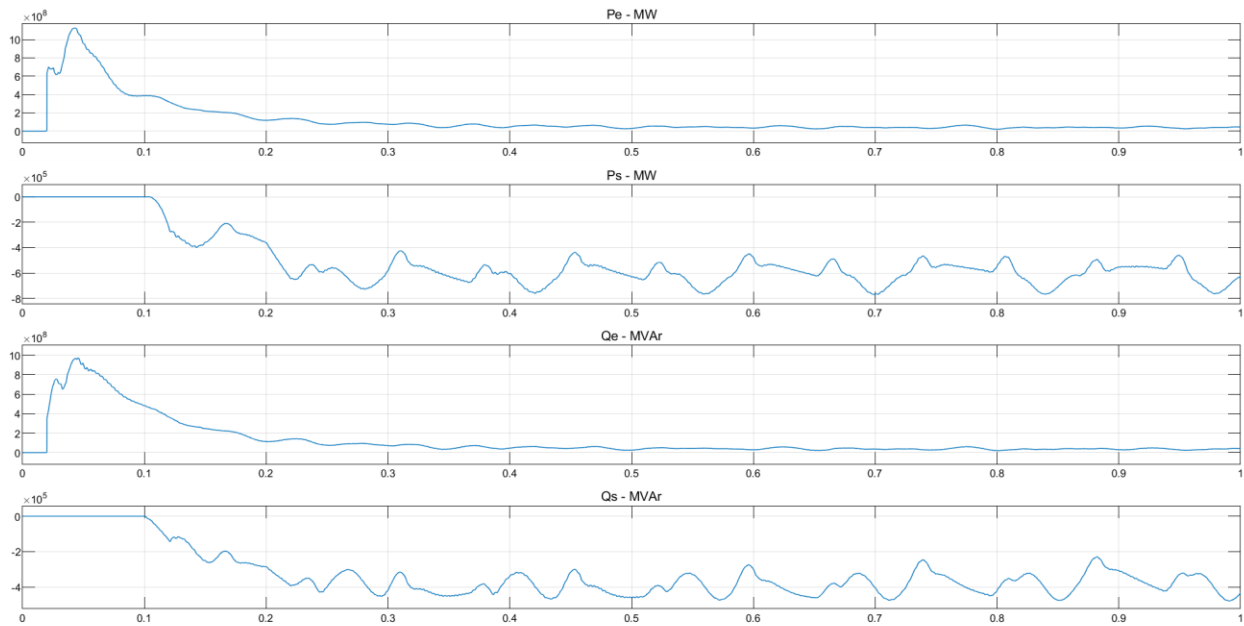
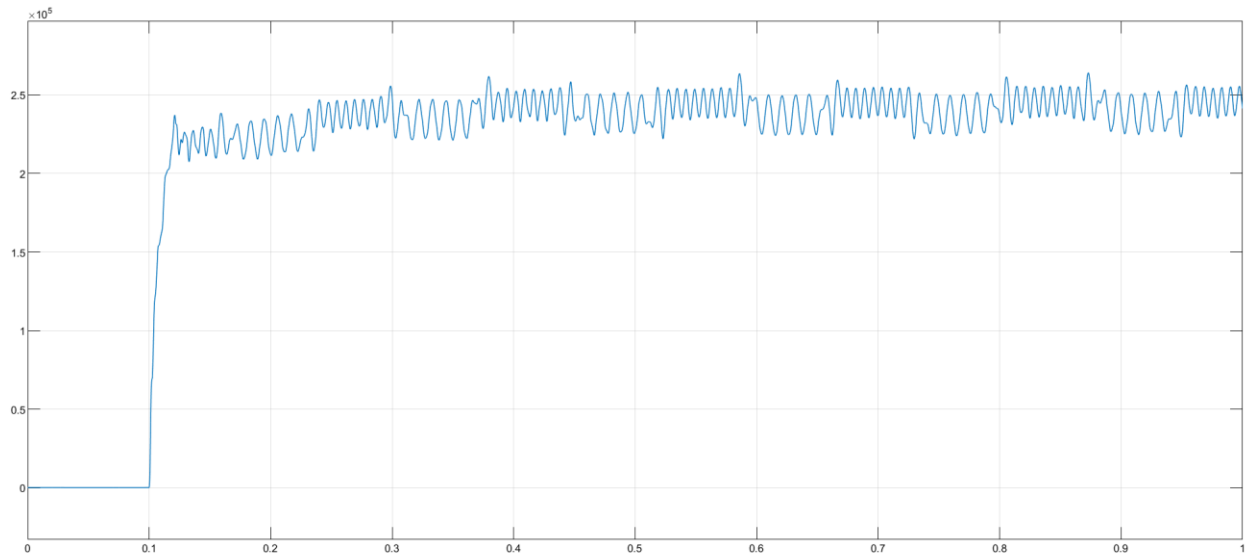


Ilustración 30. Entrada y salida, 400km, CC.

## V (Salida)

	Time	Value
1	0.880	2.452e+05
2	0.970	2.446e+05
$\Delta T$	90.155 ms	$\Delta Y$ 6.454e+02
1 / $\Delta T$		11.092 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		7.159 (/ms)





*Ilustración 31. Salida, 400km, CC.*

### 3.2.1.2 Corriente Alterna

HVAC\_Transmission\_Link

75km T=1s

**P, Q (Entrada y Salida)**

	Time	Value
1	0.321	-5.113e+03
2	0.994	-5.113e+03
$\Delta T$	673.295 ms	$\Delta Y$ 1.817e-04
1 / $\Delta T$		1.485 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		269.842 (/Ms)

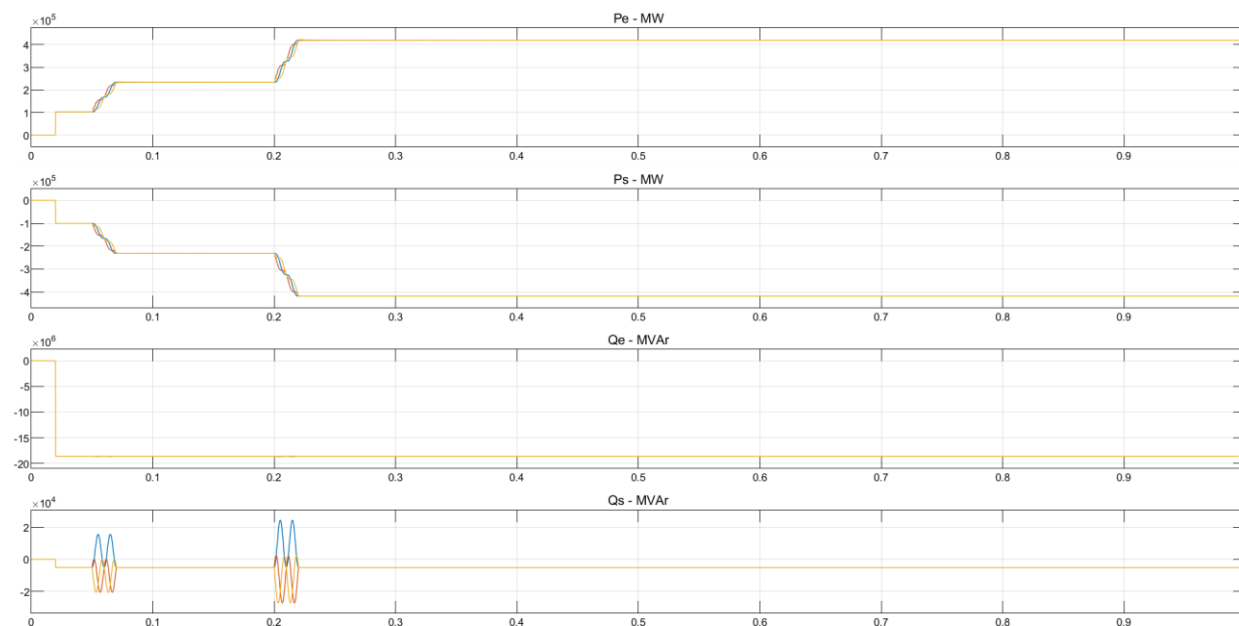
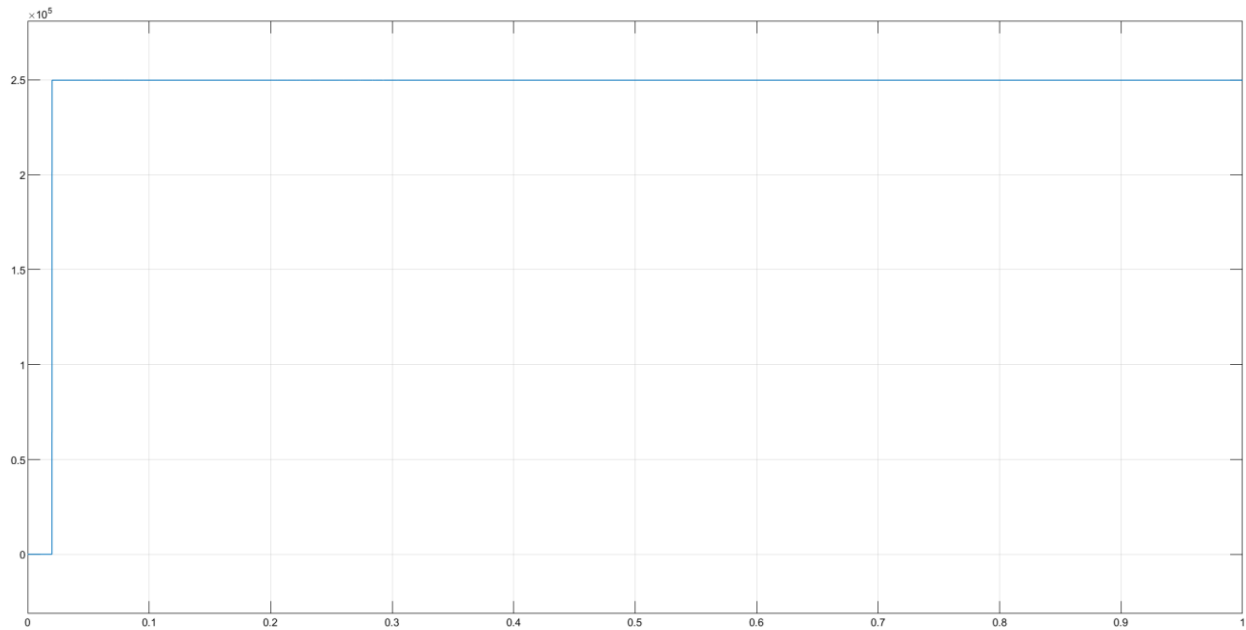


Ilustración 32. 75km. Entrada y salida, corriente alterna.

## V (Salida)

	Time	Value
1	0.250	2.498e+05
2	0.750	2.498e+05
$\Delta T$	500.000 ms	$\Delta Y$ 5.914e-02
1 / $\Delta T$		2.000 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		118.282 (/ks)



*Il·lustració 33. Salida, 75km, corriente alterna.*

200 km T=1s

### P, Q (Entrada y Salida)

	Time	Value
1	0.321	-5.502e+03
2	0.994	-5.502e+03
$\Delta T$	673.295 ms	$\Delta Y$ 1.732e-03
1 / $\Delta T$		1.485 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		2.572 (/ks)

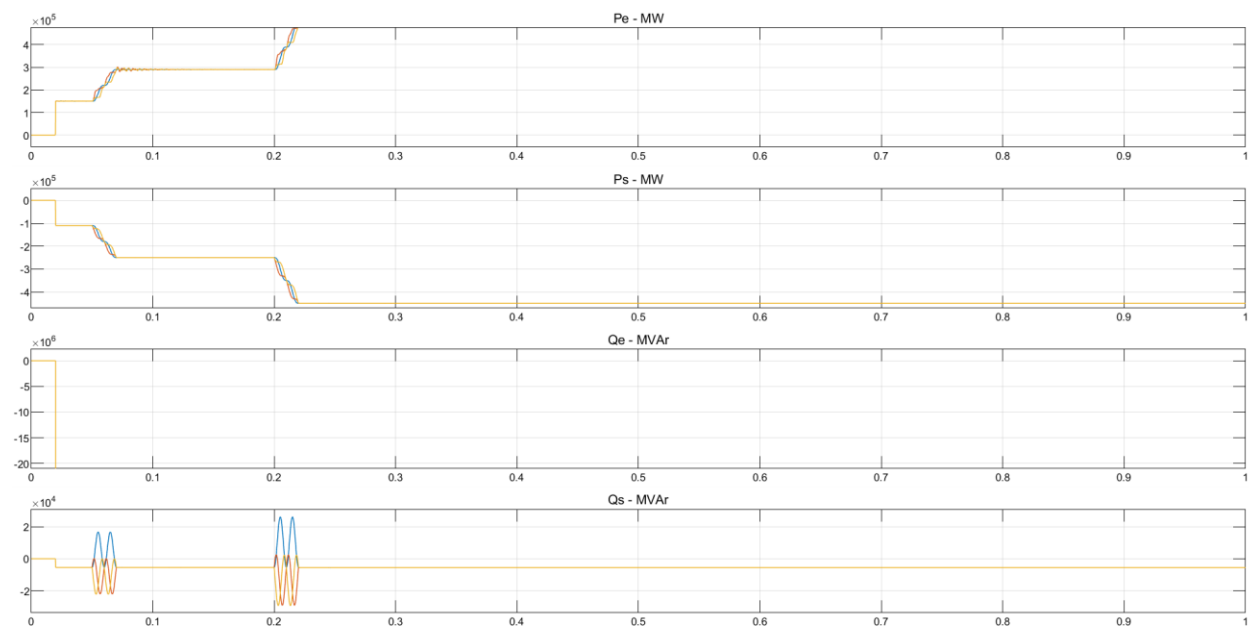
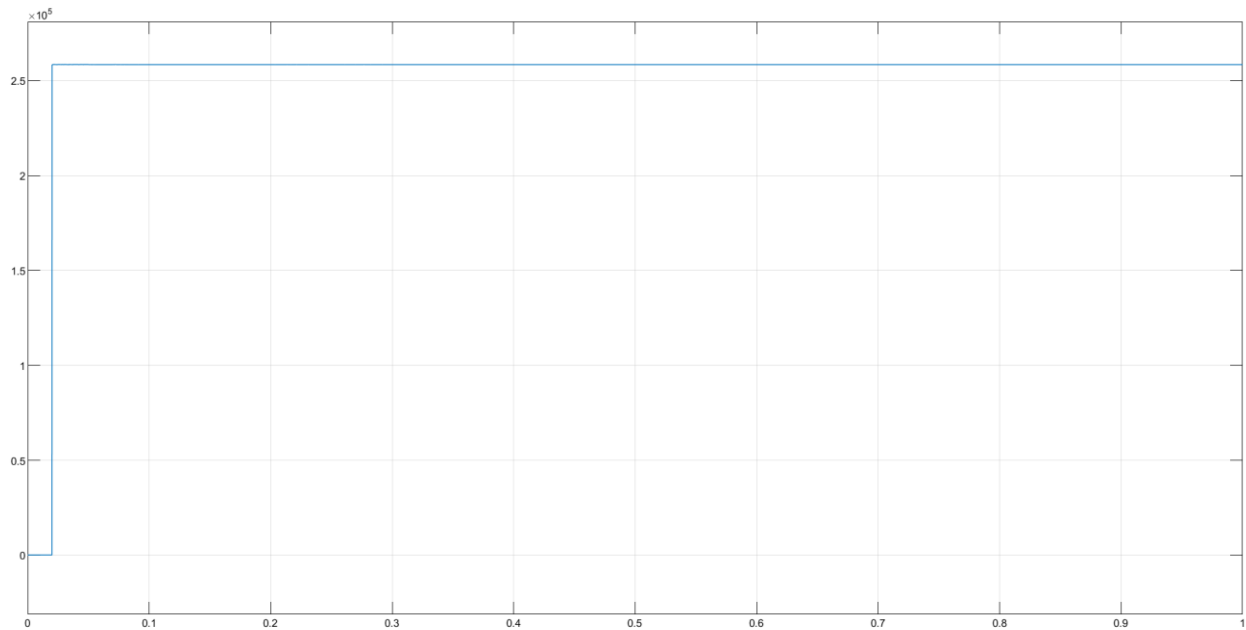


Ilustración 34. Entrada y salida, 200km, CA.

## V (Salida)

	Time	Value
1	0.250	2.584e+05
2	0.750	2.584e+05
$\Delta T$	500.000 ms	$\Delta Y$ 4.093e-01
1 / $\Delta T$		2.000 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		818.513 (/ks)

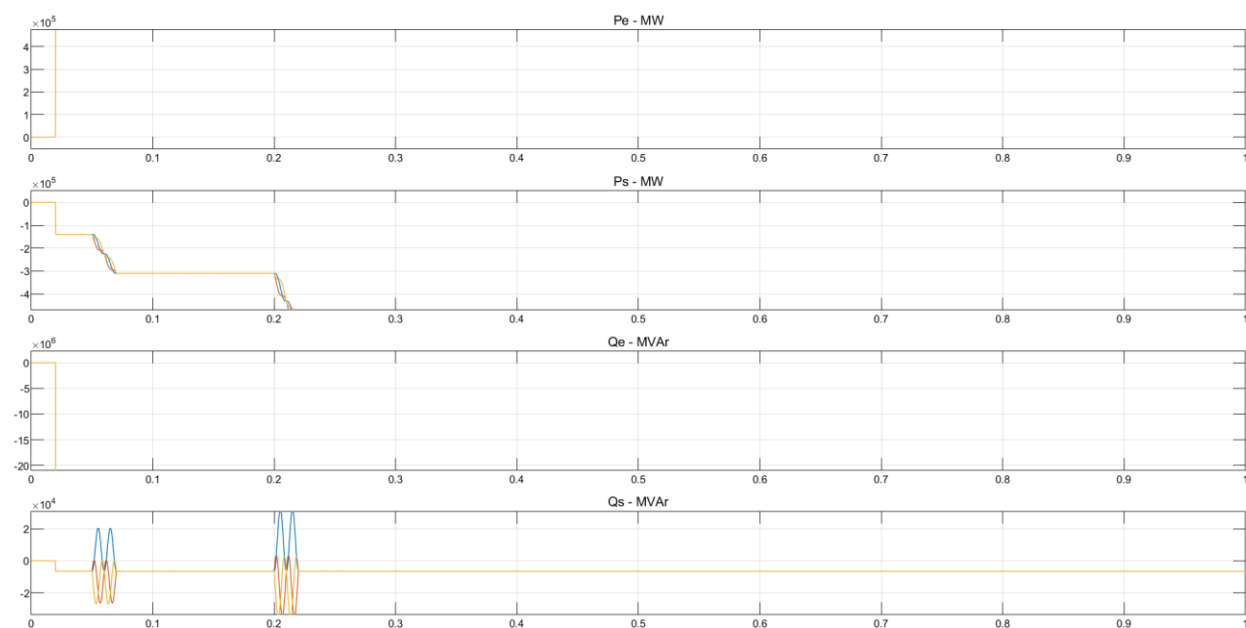


*Ilustración 35. Salida, 200km, CA.*

400 km  $T=1s$

### P, Q (Entrada y Salida)

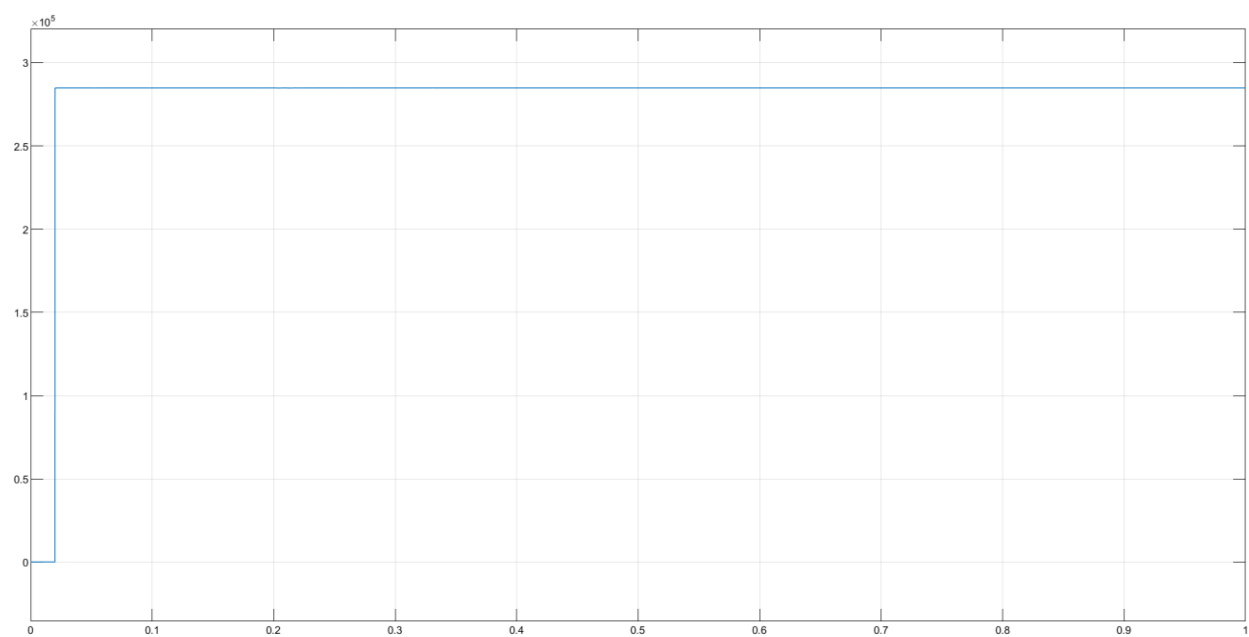
	Time	Value
1	0.321	-6.609e+03
2	0.994	-6.609e+03
$\Delta T$	673.295 ms	$\Delta Y$ 2.985e-02
$1 / \Delta T$		1.485 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		44.339 (/ks)



*Ilustración 36. Entrada y salida, 400km, CA.*

## V (Salida)

	Time	Value
1	0.250	2.848e+05
2	0.750	2.848e+05
$\Delta T$	500.000 ms	$\Delta Y$ 2.393e+00
$1 / \Delta T$		2.000 Hz
$\Delta Y / \Delta T$		4.787 (/s)



*Ilustración 37. Salida 400km. CA.*

### 3.2.1.3 Resultados numéricos

#### HVDC:

Km	Pe	Ps	Qe	Qs	Vs
75	44000000	590000	44000000	-34000000	230000
200	43000000	-590000	44000000	-34000000	230000
400	38000000	-650000	30000000	-400000	240000

#### HVAC:

Km	Pe	Ps	Qe	Qs	Vs
75	420000	-420000	-18000000	-5100	249800
200	489000	-450000	-51000000	-5500	258400
400	930000	-550000	-110000000	-6600	284800

### 3.2.1.4 Conclusiones

Con el ensayo hemos podido observar y comparar la incidencia de la distancia de los tendidos eléctricos en instalaciones de corriente continua y corriente alterna, para ello hemos utilizado el mismo modelo de Simulink, modificando las longitudes de los tendidos de 75 km hasta 400. Con ello hemos comprobado que al aumentar la distancia, la potencia se ve más afectada en la corriente alterna. La corriente alterna tiene un consumo más elevado de reactiva y el voltaje es más estable en la instalación de corriente



continua que en el del alterna. Las afectaciones por distancia han sido muy similares en ambas.

### 3.2.2 Simulación turbina y generador

Para la realización del modelo se ha usado y un generador, con unos parámetros concretos dados a continuación:

Velocidad de viento (m/s)	El archivo Simulink incluido en examen ATENEA
Constante k para $\lambda_0$	2.1078
Radio de rotor (m)	34
Tiempo de simulación (s)	30
C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 Para turbina de 1,5 MW	0.5; 116; 0.4; 5; 21; 0.08; 0.035
Carga 1	8.5 MW (conectada durante toda la simulación)
Carga 2	1.5 MW (conectada desde t = 0 s hasta t = 10 s)
Condensadores	650e3 kVAr (conectados durante toda la simulación)

3.2.2.1 Gráficos de resultados

V (wind), Cp, Beta (β), Lambda

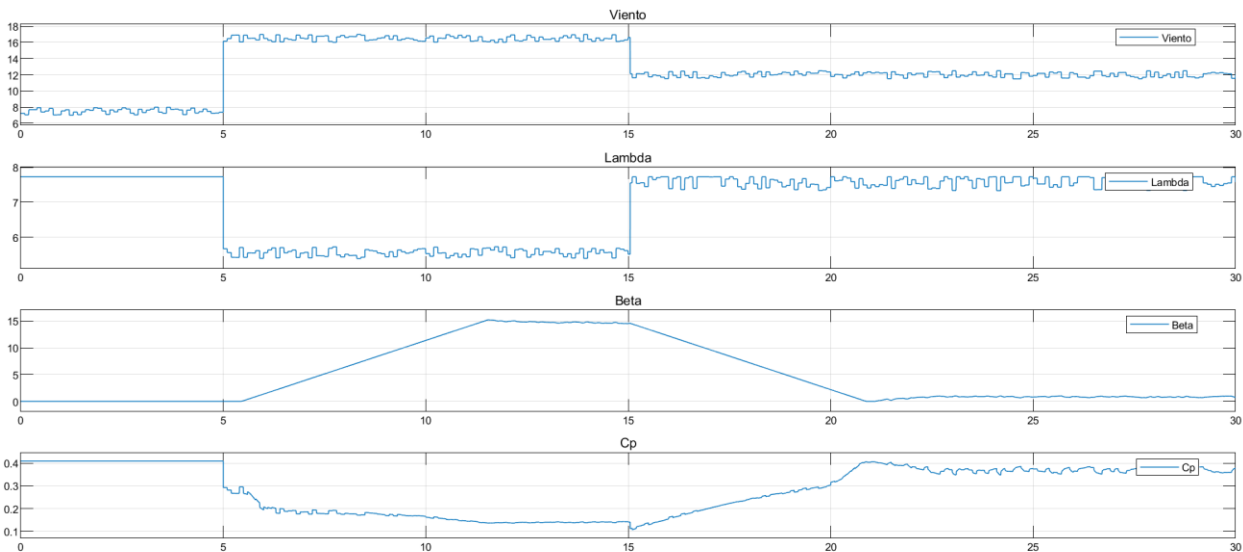
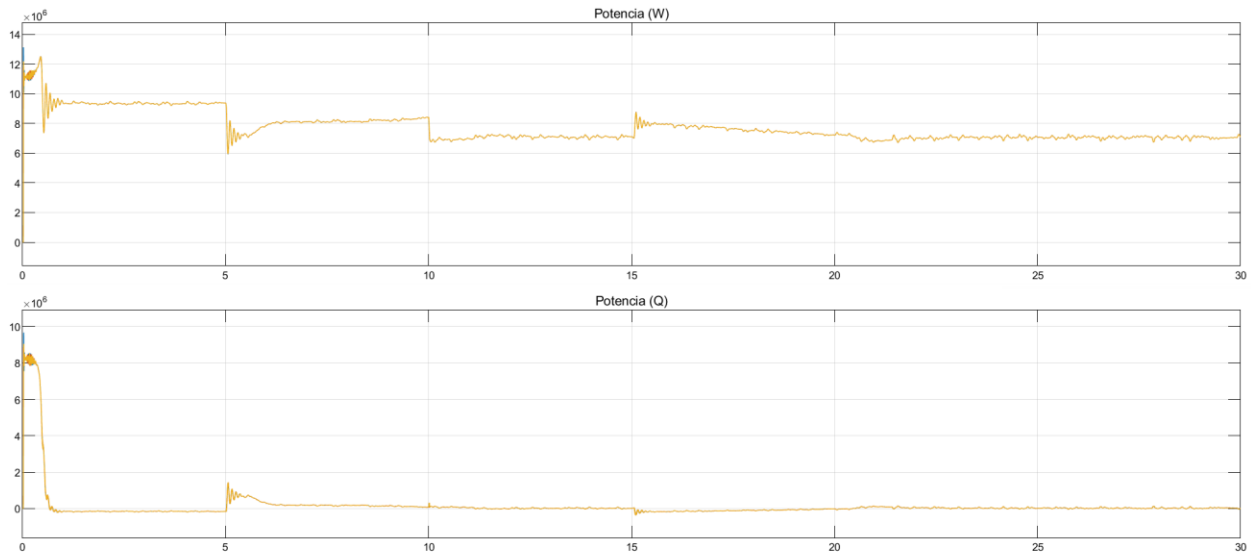


Ilustración 38. Resultados controlador.

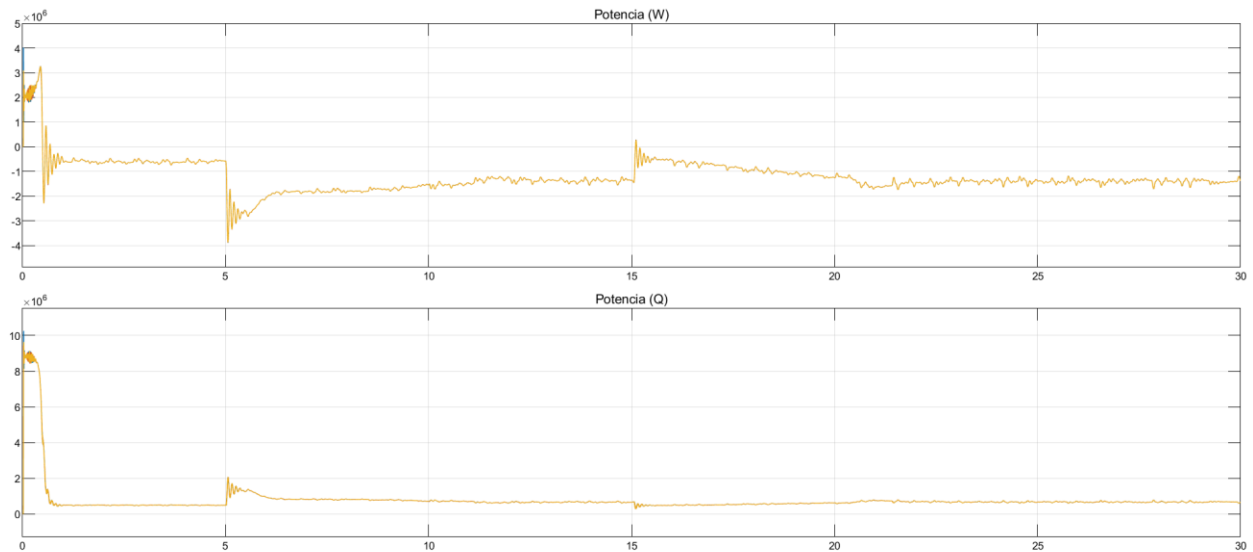
	Time	Value
1	15.000	1.413e-01
2	25.000	3.758e-01
$\Delta T$	10.000 s	$\Delta Y$ 2.345e-01
1 / $\Delta T$		100.000 mHz
$\Delta Y / \Delta T$		23.451 (/ks)

## P/Q (red)



*Ilustración 39. Red eléctrica.*

## P/Q (generador)



*Ilustración 40. Generador*

### 3.2.2.2 Conclusiones

La velocidad del viento es variable, comenzando entorno a los 7,5 m/s para ascender hasta los 16,5 m/s en los primeros 15 segundos de muestreo para disminuir y estabilizarse sobre los 12 m/s hasta los 30 segundos. La velocidad del viento recrea rachas reales en una muestra de tiempo pequeña pero suficiente para una primera simulación del conjunto del sistema.

En el gráfico de variación del  $C_p$ , podemos ver 3 zonas diferenciadas que son debidas a los cambios del viento, estas zonas podemos apreciarlas también en el gráfico de Beta (Pitch). En el gráfico de variación del Pitch ( $\beta$ ), podemos ver como comienza a actuar pasados los 5 segundos, creciendo rápidamente hasta alcanzar su valor máximo sobre los 11 segundos para a partir de los 15 segundos comienza a disminuir de nuevo.

En el gráfico de la variación del Pitch ( $\beta$ ) podemos apreciar la influencia del viento, y de nuevo observar cómo, las rachas de viento más fuerte ponen a trabajar el Pitch. Cuantas menores sean las oscilaciones, mejor para la estructura del aerogenerador, su estructura sufrirá menos vibraciones y por tanto aumentará su vida útil.

En las gráficas de potencia, se aprecian claramente las rachas de viento, del mismo modo que podemos observar las variaciones por la retirada de carga. La potencia en el gráfico de potencia entregada por la red, podemos observar su estabilización a los 20 segundos. La potencia aportada estará alrededor de 7MW, dónde la turbina suministra 1,5MW, parece necesaria la instalación de un condensador para el sistema.

Si comparamos la gráfica de la red con la del generador, vemos que tienen comportamientos (formas) similares, como en todos los gráficos analizados, el sistema depende del viento. Podemos observar que los valores de la turbina coinciden con los valores de potencia del generador, 1,5MW.

## Capítulo 4: Energías alternativas

Existen alternativas a las energías renovables, que, aunque no sean 100%, consiguen reducir las emisiones contaminantes por su tipología de combustión. La utilización de Gas Natural Licuado consigue una reducción sustancial de las emisiones. Existen centrales que queman GNL y centrales de ciclo combinado que aumentan el rendimiento del ciclo completo.

Para poder reducir las emisiones contaminantes sin necesidad de dar el salto a las energías renovables y cómo medida temporal existe la posibilidad de habilitar sistemas de limpieza de los gases de escape para reducir en la medida de lo posible la contaminación del medio.

### 4.1 Uso de GNL como combustible en buques

#### 4.1.1 Impacto Medioambiental en el Transporte Marítimo

Uno de los principales problemas medioambientales es que más del 80% de la energía primaria mundial que usamos para el desarrollo económico proviene de combustibles fósiles, lo cual genera una gran contaminación.

Los problemas medioambientales requieren una constante evaluación y modificación lo cual supone un gran coste económico y tecnológico.

Por otra parte, en algunas ocasiones, la solución de algunos problemas nos da lugar al desarrollo de otros, como puede ser la aplicación de técnicas de reducción de emisiones de ciertas sustancias dañinas que pueden producir un incremento de otras sustancias también dañinas.

La solución que se plantea en este informe para reducir los impactos medioambientales es el uso de la propulsión con gas como combustible.

#### 4.1.2 Reglamentación medioambiental

La OMI, a lo largo de los años, ha ido proponiendo varias reglamentaciones medioambientales para disminuir y controlar la contaminación de la atmosfera producida por las diferentes emisiones (CEPA para SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, y partículas metálicas).

Esta reglamentación la siguen las legislaciones locales o regionales para reducir las emisiones de SO<sub>x</sub> en los puertos, por ejemplo en los EE.UU y en la UE.

La OMI, junto a otras reglamentaciones, están siendo cada vez más restrictivas respecto a las emisiones por exhaustación de los motores.

En el caso del SO<sub>x</sub>, por ejemplo, se intenta que para el año 2020 las emisiones sean del 0,5%.

En enero del 2013 entró en vigor la normativa de eficiencia energética, la cual controla las emisiones de CO<sub>2</sub> desde la etapa de diseño de los nuevos buques y exige un plan de eficiencia energética a los buques en servicio. Esta normativa dice que se utilizará LNG en vez de fuel, lo que llevará a una reducción de aproximadamente el 20% del EEDI alcanzado.

### 4.1.3 Viabilidad del LNG

La utilización de GNL (gas natural) como combustible ofrece una solución eficiente para reducir las emisiones en el aire.

#### **Ventajas**

- Las emisiones de NO<sub>x</sub> se reducen más del 80%.
- Se eliminan las emisiones de SO<sub>x</sub>.
- Emisión de partículas sólidas  $\approx 0$ .
- En la mayoría de los casos, se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> en más del 10%.

#### **Desventajas**

La influencia en el calentamiento global del metano no quemado en los gases de escape es 20 veces superior al CO<sub>2</sub>.

### 4.1.4. Contexto económico

Después de la crisis del petróleo, en 2008, el gas natural ha empezado a ser más usado, por lo cual el precio de este ha ido incrementando.

### 4.1.5 Reglamentación Aplicable a Buques que consumen LNG

La IMO desarrollo el primer reglamento que autoriza y regula la utilización del gas resultante del "boil oil" como fuel (en buques gaseros), conocido como Código de Gas IMO.

En 2009 la IMO se plantea extender la utilización del gas natural a todo tipo de buques, por lo que empieza a desarrollar el Código Internacional para Buques propulsados con Gas (IGF), el cual se prevé poder implementar dentro de las enmiendas al Convenio SOLAS 2015. Este Código no solo se limitará al gas natural como combustible, sino que también

contemplará otras opciones como pueden ser otros gases (LPG), combustible de bajo *flash point*, almacenamiento e otros.

Por otra parte, las Sociedades de Clasificación han desarrollado una serie de guías para el diseño de este tipo de instalaciones.

Los objetivos principales de las reglas es fijar las prescripciones y, criterios básicos para obtener un grado equivalente de seguridad y confianza para los buques con propulsión por gas, comparados con los buques convencionales que utilizan fuel. Estos objetivos podrán variar según el tipo de buque y sus operaciones.

Las principales características que deben presentar los buques para el uso del gas natural como combustible son las siguientes:

- Espacio para almacenar LNG.
- Sistemas de calefacción y refrigeración necesarios.
- Segregación de los espacios requeridos
- Protección contra fugas y derrames
- Disposiciones para el bunkering

#### 4.1.6 Proyectos destacados

Actualmente se están estudiando soluciones para utilizar el gas natural como combustible, por lo que hay varios proyectos para implementarlo en diferentes tipos de buques:

- Petroleros
- Ro-ro Passenger Ship
- Buques de Servicio
- Buques frigoríficos
- Buques de Pasaje
- Pesqueros



Bureau Veritas (*business school eLearning*) ha estado trabajando en varios proyectos de buques con gas natural como pueden ser:

- Oil / Chemical Tanker (JiP LNG-CONV)
- LNG-Powered Electric Supply Barge

Por otra parte, en España, existen varios proyectos para cambiar las plantas propulsivas de consumo de fuel-oil por gas-oil:

#### Proyecto **REIMAR**

- Desarrollo Remolcador a Gas SENER
- Cooperación en Grupo de Trabajo GN
- Colaboración con Acciona
- Industria Auxiliar
- Otros Sectores



# Capítulo 5: Autoabastecimiento mediante energías renovables en el puerto de Barcelona

La situación ambiental en la ciudad de Barcelona es crítica, episodios de contaminación regularmente y niveles de polución muy por encima de los recomendados por la OMS.

Uno de los principales contribuidores a este nivel de emisiones es el parque móvil, contra el cual ya se están tomando medidas en la ciudad. En cambio, el principal contribuidor es el puerto de la capital catalana, que contribuye en gran medida a aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Una de las principales causas de la contaminación del puerto es la capacidad eléctrica del mismo, los buques portacontenedores más grandes y los cruceros, no pueden conectarse a la red eléctrica porque no está capacitada para albergar consumos tan elevados. Provocando que los buques deben generar la energía eléctrica que necesitan por medio de sus motores auxiliares, que en el puerto deben utilizar Diesel por normativas de la IMO.

Por tanto, el principal contribuidor de emisiones de NOx y SOx a la atmósfera en Barcelona son los buques que operan en el puerto.

El principal paso para la solución del problema pasa por mejorar la infraestructura eléctrica en el puerto para que, los buques puedan conectarse a la red eléctrica mientras están realizando labores operacionales.

## 5.1 Electrificación del puerto de Barcelona

### 5.1.1 Plan de electrificación del puerto de Barcelona

En junio de este mismo año tuvo lugar el Clúster Marítimo Español (CME), en el que autoridades del sector se reúnen para poner en común propuestas y medidas a adoptar y se debate sobre ellas. En la última edición, el principal tema a tratar fue la electrificación de los puertos españoles, en el se revisaron casos en los que las primeras iniciativas estaban funcionando correctamente y se podían apreciar mejoras a corto plazo cómo los niveles de contaminación acústica y emisiones directas en operación.

Empresas del sector también presentaron sus casos piloto que se estaban llevando a cabo y problemas que afectaban a otras autoridades portuarias y astilleros. En el también se presentaron propuestas de utilizar GNL cómo método productivo de energía eléctrica.

En agosto de este año el puerto de Barcelona ha presentado un plan a Red Eléctrica Española para conseguir electrificar el puerto, fijando como objetivo el año 2025. Dicha propuesta ha sido presentada también al secretario de Estado de Energía, quién la ha considerado una prioridad para el ministerio. La propuesta actual solicita una conexión de alta tensión 220kV hasta plaza Cerdà. El plan recoge una electrificación progresiva a partir de 2021.

En paralelo a este plan, el puerto de Barcelona está planteando la posibilidad de autoabastecer sus infraestructuras con la instalación de paneles fotovoltaicos en los tejados de los edificios. En la primera aproximación realizada por el puerto, con la superficie disponible actualmente, podrían llegar a generarse 129000MWh anualmente. Dicho plan incluye 6 conexiones eléctricas con un consumo de 102500MWh anuales, para ello el puerto espera contar con entre 15 y 20 millones de euros para abordar la primera fase de la electrificación, que tiene prevista una inversión total de 61 millones de Euros.

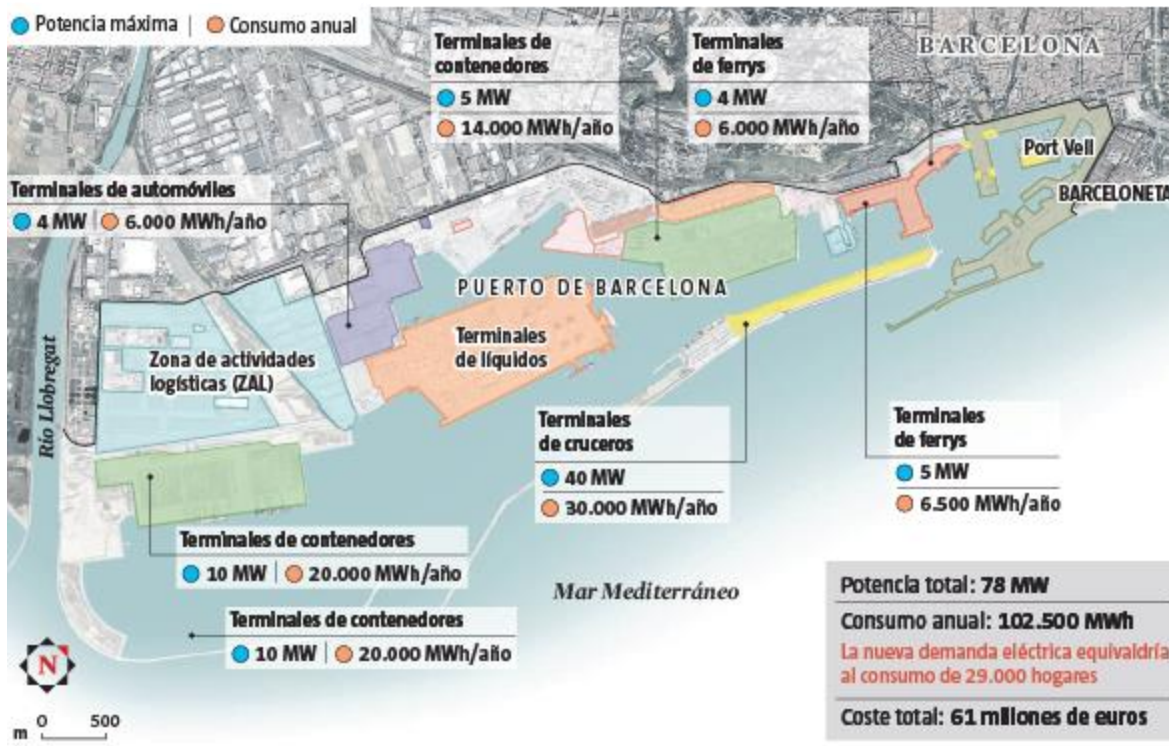


Ilustración 41. Los puntos de conexión previstos del puerto de Barcelona (Port de Barcelona)

### 5.1.2 Energías renovables en puerto de Barcelona

Con la presentación del plan del puerto de Barcelona, se consigue una gran aportación a la lucha contra la contaminación en el puerto, ya que uno de los principales problemas que existe actualmente es la imposibilidad de los buques para conectarse a la red eléctrica, teniendo que generar la electricidad necesaria con su propio combustible.

Idealmente, se debería tratar de conseguir una electrificación limpia, llevada a cabo con un gran porcentaje de energías renovables para poder abastecer las necesidades eléctricas del puerto con energía 100% limpia.

Actualmente el puerto de Barcelona compra toda su energía eléctrica a una compañía eléctrica que garantiza que el total de la electricidad consumida proviene de renovables.

Aún así en realidad eso quiere decir que alguien en otro punto de la red está consumiendo energía eléctrica producida por combustibles fósiles.

Al plan del puerto de Barcelona se debería añadir el objetivo de instalar energías renovables para la obtención de la energía eléctrica necesaria para el correcto funcionamiento del puerto.

La necesidad eléctrica del puerto, según el estudio realizado para llevar a cabo la electrificación del mismo, indica que es necesaria una potencia total de 78MW, potencia que será considerada como objetivo. Probablemente en muy pocos momentos o nunca será necesaria esa potencia de manera simultánea, pero será considerada esa dimensión.

Para la implantación de energías renovables en el puerto de Barcelona se recurrirá a los catálogos de los principales fabricantes, con toda la información obtenida sobre las energías renovables en general y la eólica en particular, se ha considerado que la mejor opción para poder abastecer a los busques del puerto pasa por un parque eólico offshore cercano a la costa y en un área controlada. Con suministro de potencia suficiente y sin necesidad de utilizar los más grandes del mercado. El parque eólico en las costas de Barcelona sería capaz de suministrar energía eléctrica a todo el puerto en condiciones de máxima demanda y el resto del tiempo podría suministrar energía eléctrica al resto de la ciudad y del país. En la siguiente tabla se realiza una comparativa de los modelos de Siemens Gamesa para parques eólicos offshore.

Tabla 7. Comparativa modelos offshore Siemens Gamesa.

Modelo	Tipo de viento	Embergadura	Potencia
<b>SG 8.0-167</b>	S (IB)	167 m	8 MW
<b>SWT-7.0-154</b>	<b>IB</b>	<b>154 m</b>	<b>7 MW</b>
<b>SWT-6.0-154</b>	IA	154 m	6 MW
<b>SG 10.0-193</b>	S (IB)	193 m	10 MW

El modelo elegido ha sido el Siemens Gamesa SWT-7.0-154, un modelo que no requiere de cantidades de viento tan elevadas como sus homólogos y con unas dimensiones más contenidas. Con la necesidad de cubrir una demanda de 78 MW, y una potencia de 7 MW deberían instalarse 11 de estos molinos para conseguir una demanda de 77MW, podría considerarse la opción de instalar una unidad más para sobrepasar la demanda o simplemente compensar con energía de la red eléctrica.

Existiría la posibilidad de utilizar molinos de viento onshore, en tierra, el problema radica en que ha sido imposible encontrar terreno suficiente para su implantación cerca del puerto o del área metropolitana de Barcelona. Para ello se podría utilizar el modelo de Vestas V150-4.2MW, una unidad con una potencia máxima de 4.2 MW que tiene un mayor rendimiento a velocidades de viento bajas, con su óptimo en velocidades de 3 m/s.

Otra de las propuestas consideradas es la de llevar a cabo la instalación de placas solares en las infraestructuras del puerto, plan también considerado por la autoridad portuaria,

con ello se podría abastecer la necesidad eléctrica de las instalaciones para la operatividad del puerto y cubrir el mega watio extra si fuera necesario.

### 5.1.3 Apuesta por el Gas Natural Licuado (LNG)

El puerto de Barcelona ha apostado por la implantación de una infraestructura de Gas Natural Licuado (GNL) para poder abastecer a los buques que cuenten con unidades propulsoras o generadores de GNL, con ello se intenta reducir la contaminación del puerto, ya que dicho combustible es más limpio que otros utilizados hasta ahora en los buques, fuel-oil y gas-oil. Algunos ferrys que frecuentan el puerto se están adaptando, con el objetivo de cumplir las nuevas normativas de la Organización Marítima Internacional (OMI) que desde 2020, obligará a los barcos a utilizar combustibles con un contenido máximo en azufre de 0,5%, eso significa una reducción de un 3%. Estas medidas contribuyen a conseguir un ambiente más limpio en el puerto y en la ciudad.

## 5.2 Puertos europeos con energías renovables

### 5.2.1 Puerto de Rotterdam

Actualmente el puerto de Rotterdam, el más grande de Europa y dentro de los 10 más grandes del mundo, se abastece con energías limpias. Una de sus iniciativas es la implantación de paneles solares en sus infraestructuras con una superficie total instalada de 7500 metros cuadrados, lo que consigue producir 75000 kWh anualmente (Figura siguiente), que sumado a la potencia ya instalada consigue llegar a los 3,75 GWh anuales, que contribuye al 20% del total. El plan del puerto de Rotterdam es conseguir llegar a los 1000GWh producidos por energía solar y otras renovables en 2030.





*Ilustración 42. Instalación solar en el puerto de Rotterdam. (diariorenovables.com)*

### 5.2.2 Puerto de Hamburgo

Cada vez más empresas están instalando sus propios aerogeneradores en el puerto de Hamburgo para generar su propia energía. Esto es más barato para las compañías portuarias y aumenta su eficiencia. Los proyectos de energía inteligente también muestran que las energías renovables son económicamente competitivas, y Hamburgo será el escaparate de la transición energética alemana.

El operador de la terminal de contenedores de Hamburgo, Eurogate, tiene sus propias turbinas de 2,4 MW, que con una inversión de 4,8 millones de euros, fueron amortizadas en 5 años.



*Ilustración 43. Turbinas eólicas puerto de Hamburgo. (Ulrich Mertens)*

### 5.3 Viabilidad del proyecto en el puerto de Barcelona

La viabilidad del proyecto de electrificación del puerto de Barcelona parece confirmada por el propio puerto, a falta de aprobación del Estado y Red Eléctrica Española, por tanto su realización se llevará a cabo en los próximos años, de tal manera que con una inversión de 61 millones de euros, quedará cubierta la demanda necesaria para llegar a un camino más limpio de emisiones en el puerto.

Por otro lado, la opción de producir esta energía mediante energías renovables debería ser considerada con un incremento en el coste total del proyecto entre los 13 y los 16,5 millones de euros, sin contabilizar el posible retorno que tendría la producción de energía eléctrica a la red o la posibilidad de ser parcialmente financiado por las compañías eléctricas responsables de la gestión de energía eléctrica.

## Capítulo 6: Análisis económico

La inversión necesaria para la implementación de energías renovables ha ido disminuyendo con el paso de los años, las tecnologías mejoran y son capaces de producir mayor cantidad de energía con un coste más bajo. Del mismo modo que se implementan nuevos modelos operacionales y de diseño para que el montaje de las instalaciones sea más sencilla y por tanto menos costosa. Actualmente el coste de instalación de una turbina eólica offshore está entre los 1,2-1,5 millones de euros cada mega watio y la onshore entre 0,8-1 millón de euros por cada mega watio instalado.

Son costes asumibles para conseguir una rentabilidad a medio-corto plazo. El ejemplo más claro es la instalación del puerto de Hamburgo, donde, una inversión de 4,8 millones de euros fue rentabilizada en tan solo 5 años, un millón anual.

A continuación, se muestran dos tablas distintas, con las consideraciones de peor caso, económicamente hablando y el mejor:

*Tabla 8. Inversión mejor caso. (offshore)*

Descripción	Inversión necesaria (millones de €)
<b>Proyecto de electrificación del puerto</b>	<b>61</b>
Fase 1 (2021)	15
Fase 2 (2023)	30
Fase 3 (2025)	16
Instalación de parque eólico offshore	13
<b>Total</b>	<b>74</b>

Tabla 9. Inversión peor caso. (offshore)

Descripción	Inversión necesaria (millones de €)
<b>Proyecto de electrificación del puerto</b>	<b>61</b>
Fase 1 (2021)	15
Fase 2 (2023)	30
Fase 3 (2025)	16
Instalación de parque eólico offshore	16,5
<b>Total</b>	<b>77,5</b>

En ambas se ha considerado el plan actual del puerto de electrificación y la instalación de placas solares contempladas en su programa, con un compute global de 61 millones de euros, a los que se han sumado 13 millones (en el mejor caso) y 16,5 en el peor de ellos.

Se ha considerado la opción de presupuestar la instalación onshore, considerando el valor de 0,9 millones por cada mega watio instalado, el resultado ha sido el esperado, con potencias elevadas, la instalación onshore no es rentable:

Tabla 10. Instalación onshore.

Descripción	Inversión necesaria (millones de €)
<b>Proyecto de electrificación del puerto</b>	<b>61</b>
Fase 1 (2021)	15
Fase 2 (2023)	30
Fase 3 (2025)	16
Instalación de parque eólico offshore	16,7
<b>Total</b>	<b>77,7</b>

Obteniendo finalmente una inversión de entre 74 y 77,5 millones de euros para poder llevar a cabo el proyecto.

## CONCLUSIONES

Durante el periodo de realización del trabajo se ha llevado a cabo un amplio estudio del mercado y de la situación medioambiental actual, a nivel global, estatal y local, analizando las causas y llegando a la conclusión que la única opción es actuar.

La situación actual es crítica a nivel global y local, debemos llevar a cabo acciones, todo lo que esté en nuestra mano, para poder hacer frente al cambio climático y todos los problemas del punto medioambiental en el que nos encontramos. Glaciares del mundo están perdiendo gran parte de su extensión debido al cambio climático, la temperatura de la tierra aumenta y las estaciones se desplazan, no es que lo estemos empezando a ver, estamos de lleno en las consecuencias de los últimos años en los que hemos acelerado el proceso. Simplemente, **actuemos**.

El puerto de Barcelona se ha comprometido en los últimos años a llevar a cabo acciones para poder mitigar los efectos que tienen las emisiones sobre las personas y el medio ambiente en general. La electrificación del puerto es un proyecto ambicioso y que puede aportar grandes beneficios al propio puerto, a los buques y a la ciudad.

Puertos europeos como Rotterdam, Hamburgo (citados en el trabajo) y Amberes están llevando a cabo políticas ambientales estrictas y acciones para conseguir obtener la energía eléctrica del modo más limpio posible, con los puertos más grandes de Europa como ejemplo y la oportunidad de aprovechar el proyecto de electrificación del puerto de Barcelona es una muy buena opción para comenzar con la utilización de energías renovables en el puerto.

Para la electrificación mediante renovables en el puerto de Barcelona se han considerados varias opciones, para acabar teniendo más fuerza la combinación de energía eólica (para la aportación principal de energía) y energía solar (cómo método “auxiliar” para picos de consumo y abastecer todos los edificios del puerto). El objetivo principal sería instalar un parque eólico en tierra, ya que es mucho más eficiente con vientos de categorías altas (bajas velocidades), existentes en Barcelona, ante la imposibilidad de encontrar un área disponible para la instalación del parque, la alternativa sería instalar dichos molinos en el propio puerto, cómo en Hamburgo. Aún así, el área disponible en el interior del puerto es reducida y aumentaría el coste del proyecto.

Por tanto, la alternativa real y lógica es la de instalar un parque eólico *offshore* en la costa barcelonesa, con una relación de energía y coste óptima. El plan de instalación a seguir debería cuantificar el impacto social, medioambiental y apoyo político para poder salir adelante. Con la instalación del parque de 11 turbinas eólicas se podría abastecer por completo la demanda eléctrica del puerto en cualquier momento y abastecer a la ciudad de Barcelona con energía eléctrica producida con renovables a través de la red eléctrica en momentos en los que el puerto no requiera de la potencia máxima instalada. Económicamente hablando el proyecto generaría puestos de trabajo temporales y fijos para el mantenimiento y control de la instalación y reportaría beneficios por la venta de energía eléctrica a la red.

La implantación de energías renovables sería un punto de inflexión en las políticas estatales y un claro ejemplo a seguir por el resto de los puertos del estado, todo ello sin contemplar los beneficios económicos que podría llegar a reportar al propio puerto.

Consigamos un puerto más limpio.

## Bibliografía

### Acciones y estudios medioambientales europeos [1,2,3]:

- [1] [https://ec.europa.eu/commission/news/environmental-implementation-review-2019-apr-05\\_en](https://ec.europa.eu/commission/news/environmental-implementation-review-2019-apr-05_en)
- [2] [https://ec.europa.eu/environment/waste/plastic\\_waste.htm](https://ec.europa.eu/environment/waste/plastic_waste.htm)
- [3] <https://ec.europa.eu/environment/action-programme/index.htm>
- [4] **Contaminación de puertos, cruceros.** Documentación AEInnova
- [5] **Análisis medioambiental.** caycca.com
- [6] **Estado ambiental últimas décadas.** oei.es
- [7] **Documentación ambiental.** Observatoriors.org
- [8] **Perfil ambiental en España.** Ministerio para la transición ecológica, miteco.go.es
- [9] **Ranking medioambiental** por comunidades autónomas de Greenpeace. Greenpeace.org
- [10] **Contaminación ambiental.** insst.es
- [11] **Fuentes energéticas en España.** Asociación de Empresas de Energías Renovables. Appa.es
- [12] **Potencia eléctrica y cobertura de demanda eléctrica.** Red Eléctrica de España. Ree.es
- [13] **Calidad del aire Barcelona.** Barcelona.cat
- [14] **Transporte Internacional.** Logística.cdcomunicacion.es
- [15] **Declaración ambiental Puerto Barcelona.** Portdebarcelona.cat
- [16] **Energía solar.** Solar-energía.net
- [17] **Molinos de viento.** Ge.com
- [18] **Molinos de viento.** Siemensgamesa.com

- [19] **Molinos de viento.** [mhivestasoffshore.com](http://mhivestasoffshore.com)
- [20] **Tipos de viento.** [lmwindpower.com](http://lmwindpower.com)
- [21] **Clúster Marítimo Español.** [Profesionalesdehoy.es](http://profesionalesdehoy.es)
- [22] **Puerto de Hamburgo.** [Hamburg.de/energiewende](http://Hamburg.de/energiewende)
- [23] **Puerto de Rotterdam.** [Portofrotterdam.com](http://Portofrotterdam.com)



# ANEXO 1: CO<sub>2</sub> Neutral Puerto de Rotterdam



*Ilustración 44. CO<sub>2</sub> Neutral en el puerto de Rotterdam, video.*

<https://www.portofrotterdam.com/en/doing-business/port-of-the-future/energy-transition/all-about-energy-transition/in-three-steps>



## ANEXO 2: Declaración ambiental puerto Barcelona



*Ilustración 45. Declaración ambiental puerto barcelona.*

[http://www.gencat.cat/mediamb/declaracions\\_ambientals/ES-CAT-000430.pdf](http://www.gencat.cat/mediamb/declaracions_ambientals/ES-CAT-000430.pdf)

